

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Masivní dřevěná skeletová konstrukce rodinného domu

Massive woodhouse timber frame of a family house

Student:

Marek Baur

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Baur**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: **Masivní dřevěná skeletová konstrukce rodinného domu**
Massive woodhouse timber frame of a family house
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte a posuďte dřevěnou skeletovou konstrukci rodinného domu v uvedeném rozsahu:

- 1) Rešerše současných konstrukčních systémů dřevěných konstrukcí.
- 2) Vypracování studie řešené konstrukce.
- 3) Návrh a posouzení vybraných rozhodujících nosných prvků a spojů v mezním stavu únosnosti a použitelnosti.
- 4) Výkresová dokumentace.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, 12/2006 + Změna A1;
- 2) Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, 12/2006;
- 3) ČSN EN 1990 Eurokód: zásady navrhování konstrukcí, ČNI, 03/2004.
- 4) ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, ČNI, 03/2004.
- 5) ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem, ČNI, 06/2005.
- 6) ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem, ČNI, 04/2007.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 02.05.2017



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 25.2017


.....

Marek Baur

Prohlašuji:

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBTUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 25.2017

.....


Marek Baur

Anotace

Cílem bakalářské práce je staticky posoudit přízemní rodinný dům na bázi dřeva. První část je zaměřena na rešerši současných nosných systémů pro bydlení na bázi dřeva. Druhá část se zabývá návrhem dispozičního a konstrukčního řešení rodinného domu. Třetí a také hlavní část se zabývá návrhem a posouzením nosných prvků, ztužení a jejich spojů podle platných norem ČSN EN.

Klíčová slova

dřevo, rodinný dům, rešerše, dřevostavba, masivní, těžký dřevěný skelet

Annotation

The goal of the bachelor thesis is to statically assess the ground-based family house of wood-based materials. The first part is focused on the research of contemporary bearing wood-based systems for living. The second part deals with the proposal of layout and construction solutions of a family house. The third and also the main part deals with the proposal and assessment of static load-bearing, the bracings and their connections according to the valid ČSN EN standards.

Key words

wood, family house, research, wooden building, massive, timber frame

Obsah

Použité značení.....	- 9 -
Úvod	- 15 -
1. Rešerše nosných systémů staveb pro bydlení na bázi dřeva.....	- 16 -
1.1. Srubové stavby	- 16 -
1.2. Hrázděné stavby	- 18 -
1.3. Lehké skeletové systémy	- 19 -
1.4. Těžký dřevěný skelet	- 21 -
1.4.1. Konstrukce s jednodílným sloupem a dvoudílným nosníkem	- 24 -
1.4.2. Konstrukce s dvoudílným sloupem a jednodílným nosníkem	- 25 -
1.4.3. Konstrukce s jednodílným sloupem a jednodílným nosníkem	- 25 -
1.4.4. Konstrukce s jednodílným sloupem a přilehlým nosníkem.....	- 26 -
1.4.5. Vidlicový sloup.....	- 26 -
1.5. Stavby z masivního dřeva	- 27 -
1.5.1. Plné průřezy velkoplošných dílců	- 29 -
1.5.2. Složené průřezy velkoplošných dílců.....	- 30 -
2. Dispoziční řešení	- 31 -
3. Konstrukční řešení objektu.....	- 33 -
4. Návrh a posouzení nosných prvků konstrukce objektu	- 35 -
4.1. Zatížení na konstrukci	- 35 -
4.1.1. Zatížení vlastní tíhou	- 35 -
4.1.2. Zatížení užité.....	- 37 -
4.1.3. Zatížení sněhem.....	- 38 -
4.1.4. Zatížení větrem.....	- 39 -
4.2. Výpočet vnitřních sil	- 45 -
4.3. Vazník	- 47 -
4.4. Vaznice	- 50 -
4.5. Stabilita konstrukce.....	- 53 -
4.6. Sloup – vnitřní	- 57 -
4.7. Sloup – rohový.....	- 58 -
4.8. Spoje	- 61 -
4.8.1. Styčnickové desky s prolisovanými trny	- 61 -
4.8.2. Napojení vazníku na vaznici	- 64 -
4.8.3. Spojení sloupu a vaznice	- 65 -

4.8.4.	Spojení sloupu a vaznice s diagonálou	- 67 -
5.	Návrh a posouzení nosných prvků konstrukce přístřešku.....	- 70 -
5.1.	Konstrukční řešení.....	- 70 -
5.2.	Zatížení konstrukce	- 71 -
5.2.1.	Zatížení vlastní tíhou	- 71 -
5.2.2.	Zatížení sněhem.....	- 71 -
5.2.3.	Zatížení větrem.....	- 71 -
5.3.	Krokev.....	- 73 -
5.4.	Vaznice	- 74 -
5.5.	Pásek	- 75 -
5.6.	Sloup – prostřední.....	- 76 -
5.7.	Sloup – krajní	- 77 -
6.	Požární odolnost	- 79 -
6.1.	Vaznice	- 79 -
6.2.	Sloup.....	- 80 -
	Závěr	- 82 -
	Seznam použité literatury	- 84 -
	Seznam obrázků	- 86 -
	Seznam tabulek.....	- 88 -
	Seznam příloh.....	- 89 -
	Příloha A	- 89 -
	Příloha B	- 94 -
	Příloha C.....	- 96 -
	Příloha D.....	- 98 -
	Příloha E	- 111 -
	Příloha F.....	- 112 -
	Výkresy.....	- 115 -

Použité značení

Velká písmena latinské abecedy

A	Plocha [mm ²]
$A_{ef,osl}$	Efektivní plocha oslabeného průřezu [mm ²]
A_{osl}	Plocha oslabeného průřezu [mm ²]
$A_{osl,fi}$	Plocha oslabeného průřezu účinkem požáru [mm ²]
C_e	Součinitel expozice [-]
C_t	Tepelný součinitel [-]
ČR	Česká republika
$E_{0,05}$	Hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti [MPa]
F_d	Návrhová hodnota síly ve styčnickové desce [kN]
F_{HR}	Únosnost spoje převzatá z technického listu [kN]
F_M	Síla vyvolaná momentem [kN]
$F_{v,Rk}$	Charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku [kN]
$F_{v,Rd}$	Návrhová únosnost jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku [kN]
I_p	Polární moment setrvačnosti [mm ⁴]
$I_v(z)$	Intenzita turbulence [-]
I_y	Moment setrvačnosti k ose y [mm ⁴]
I_z	Moment setrvačnosti k ose z [mm ⁴]
$I_{z,fi}$	Moment setrvačnosti k ose z při požáru [mm ⁴]
K_I	Součinitel turbulence [-]
L	Délka svaru [mm]
$L_{cr,y}$	Vzpěrná délka pro vybočení prvku v ose y [mm]
$L_{cr,z}$	Vzpěrná délka pro vybočení prvku v ose z [mm]
M_d	Moment působící v těžišti styčnickové desky [kNm]
M_{max}	Maximální ohybový moment [kNm]
M_{min}	Minimální ohybový moment [kNm]
MSP	Mezní stav použitelnosti
MSÚ	Mezní stav únosnosti
$M_{y,Rk}$	Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku [Nmm]
$M_{y,max}$	Maximální ohybový moment kolem osy y [kNm]
$M_{z,přisl}$	Příslušný ohybový moment kolem osy z [kNm]

N_d	Maximální tlačená síla [kN]
N_{Ed}	Návrhová hodnota normálové síly [kN]
N_{max}	Maximální normálová síla [kN]
$N_{t,Rd}$	Návrhová únosnost taženého prvku [kN]
$N_{přisl}$	Příslušná návrhová hodnota normálové síly [kN]
R	Výslednice sil [kN]
R_{max}	Maximální hodnota reakce v podpoře [kN]
RD	Rodinný dům
V_{max}	Maximální posouvající síla [kN]
W_y	Průřezový modul k ose y [mm ³]
$W_{y,osl}$	Průřezový modul oslabeného průřezu k ose y [mm ³]
$W_{y,osl,fi}$	Průřezový modul oslabeného průřezu k ose y při požáru [mm ³]
W_z	Průřezový modul k ose z [mm ³]

Malá písmena latinské abecedy

a	Výška svaru [mm]
a_1	Rozteč mezi spojovacími prostředky rovnoběžně s vlákny [mm]
a_2	Rozteč mezi spojovacími prostředky kolmo na vlákna [mm]
$a_{3,t}$	Vzdálenost spojovacího prostředku od zatíženého konce prvku [mm]
$a_{3,c}$	Vzdálenost spojovacího prostředku od nezatíženého konce prvku [mm]
$a_{4,t}$	Vzdálenost spojovacího prostředku od zatíženého okraje prvku [mm]
$a_{4,c}$	Vzdálenost spojovacího prostředku od nezatíženého okraje prvku [mm]
b	Šířka [mm]
b_{fi}	Efektivní šířka při požáru [mm]
c	Neefektivní šířka styčnickové desky [mm]
$co(z)$	Součinitel ortografie [-]
c_{dir}	Součinitel směru větru [-]
c_{pe}	Součinitel vnějšího tlaku větru [-]
c_{pi}	Součinitel vnitřního tlaku větru [-]
$c_r(z)$	Součinitel drsnosti [-]
c_{season}	Součinitel ročního období [-]
d	Průměr [mm]
d_0	Součinitel pro výpočet redukovaného průřezu [mm]
d_{ef}	Účinná hloubka zuhelnatění [mm]

$f_{\alpha,\beta,k}$	Charakteristická pevnost připojení trnů pod úhly α a β [MPa]
$f_{c,0,k}$	Charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,0,d}$	Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,0,d,fi}$	Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny při požáru [MPa]
$f_{c,90,k}$	Charakteristická pevnost v tlaku kolmo na vlákna [MPa]
$f_{c,90,d}$	Návrhová pevnost v tlaku kolmo na vlákna [MPa]
$f_{h,k}$	Charakteristická pevnost dřeva v otláčení [MPa]
$f_{m,k}$	Charakteristická pevnost dřeva v ohybu [MPa]
$f_{m,d}$	Návrhová pevnost dřeva v ohybu [MPa]
$f_{m,d,fi}$	Návrhová pevnost dřeva v ohybu při požáru [MPa]
$f_{t,0,k}$	Charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,0,d}$	Návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,90,k}$	Charakteristická pevnost v tahu kolmo na vlákna [MPa]
$f_{t,90,d}$	Návrhová pevnost v tahu kolmo na vlákna [MPa]
f_u	Mez pevnosti oceli [MPa]
$f_{v,0,k}$	Charakteristická pevnost ve smyku v podélném směru [MPa]
$f_{v,0,d}$	Návrhová pevnost ve smyku v podélném směru [MPa]
$f_{v,90,k}$	Charakteristická pevnost ve smyku v příčném směru [MPa]
$f_{v,k}$	Charakteristická pevnost ve smyku [MPa]
$f_{v,d}$	Návrhová pevnost dřeva ve smyku [MPa]
$f_{v,d,fi}$	Návrhová pevnost dřeva ve smyku při požáru [MPa]
$f_{x,d}$	Návrhová hodnota namáhání ve směru x [N/mm]
f_y	Mez kluzu oceli [MPa]
$f_{y,d}$	Návrhová hodnota namáhání ve směru y [N/mm]
h	Výška [mm]
h_{fi}	Efektivní výška při požáru [mm]
i_y	Poloměr setrvačnosti k ose y [mm]
i_z	Poloměr setrvačnosti k ose z [mm]
$i_{z,fi}$	Poloměr setrvačnosti k ose z při požáru [mm]
k_0	Součinitel závisí na době požáru při které nesmí dojít ke kolapsu konstrukce [-]
$k_1;k_2$	Součinitele pro určení charakteristické pevnosti připojení trnů pod úhlem [-]
$k_{c,90}$	Součinitel zohledňující uspořádání zatížení [-]
$k_{c,y}$	Součinitel vzpěru v ose y [-]

$k_{c,y,fi}$	Součinitel vzpěru v ose y při požáru [-]
$k_{c,z}$	Součinitel vzpěru v ose z [-]
k_{cr}	Součinitel trhlin pro únosnost ve smyku [-]
k_{def}	Součinitel dotvarování [-]
k_{ef}	Součinitel zohledňující rozteče hřebíků v řadě [-]
k_{fi}	Součinitel zohledňující typ dřeva [-]
k_m	Součinitel zohledňující tvar průřezu [-]
k_r	Součinitel terénu [-]
k_v	Konstanta určující charakteristiku desky [-]
k_y	Součinitel vzpěrnosti v ose y [-]
k_z	Součinitel vzpěrnosti v ose z [-]
$k_{z,fi}$	Součinitel vzpěrnosti v ose z při požáru [-]
k_{mod}	Modifikační součinitel zohledňující vliv vlhkosti a trvání zatížení [-]
$k_{mod,fi}$	Modifikační součinitel pro požár [-]
l	Délka [mm]
l_s	Délka spáry [mm]
m	Hmotnost [kg]
n	Počet hřebíků [-]
n_{ef}	Účinný počet hřebíků [-]
q_b	Základní tlak větru [N/m ²]
q_d	Návrhová hodnota zatížení (hodnota, která může být překročena pouze s definovanou minimální pravděpodobností) [kN/m ²]
q_k	Charakteristická (normová) hodnota zatížení (hodnota, kterou můžeme v průběhu užívání konstrukce skutečně očekávat) [kN/m ²]
q_p	Charakteristický maximální dynamický tlak [kN/m ²]
r_{max}	Vzdálenost mezi těžištěm a nejvzdálenějším bodem plochy A_{ef} [mm]
s_i	Charakteristické zatížení sněhem pro dočasné a návrhové situace [kN/m ²]
s_k	Charakteristická hodnota sněhu na zemi [kN/m ²]
t	Čas [min]
t_d	Tloušťka desky [mm]
t_p	Tloušťka plechu [mm]
tzn.	To znamená
tzv.	Takzvané

$v_{b,0}$	Charakteristická desetiminutová střední rychlost větru [m/s]
v_b	Základní rychlost větru [m/s]
vl.	vlastní
$v_m(z)$	Střední rychlost větru [m/s]
w_k	Charakteristická hodnota zatížení větrem [kN/m]
w_{inst}	Okamžitý průhyb [mm]
w_{fin}	Konečný průhyb [mm]
z	Referenční výška [m]
z_0	Parametr drsnosti terénu [m]
z_{min}	Minimální výška [m]

Malá písmena řecké abecedy

α	Úhel mezi směrem síly a hlavním směrem styčnickové desky [°]
α_1	Úhel mezi směrem výslednice sil a směrem vláken dřeva [°]
β	Úhel mezi směrem síly a směrem vláken dřeva [°]
β_c	Součinitel pro prvky splňující meze zakřivení [-]
β_n	Návrhové rychlosti zuhelnatění [mm/min]
β_w	Součinitel korelace [-]
γ	Úhel mezi podélným směrem desky a spárou spoje [°]
γ_0	Konstanta určující charakteristiku desky [-]
γ_f	Součinitel zatížení (přihlíží k náhodným odchylkám od normových hodnot) [-]
γ_M	Dílčí součinitel materiálu pro únosnost [-]
$\gamma_{M,fi}$	Dílčí součinitel materiálu pro únosnost pro požár [-]
γ_{Mw}	Dílčí součinitel spolehlivosti svarových spojů [-]
η_{fi}	Součinitel zatížení při požáru [-]
$\lambda_{rel,y}$	Poměrný štíhlostní poměr v ose y [-]
$\lambda_{rel,z}$	Poměrný štíhlostní poměr v ose z [-]
$\lambda_{rel,z,fi}$	Poměrný štíhlostní poměr v ose z při požáru [-]
λ_y	Štíhlostní poměr v ose y [-]
λ_z	Štíhlostní poměr v ose z [-]
$\lambda_{z,fi}$	Štíhlostní poměr v ose z při požáru [-]
μ_i	Tvarový součinitel zatížení sněhem [-]
ρ	Hustota [kg/m ³]

ρ_k	Charakteristická hustota dřeva [kg/m ³]
ρ_v	Hustota vzduchu [kg/m ³]
$\sigma_{c,0,d}$	Návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$\sigma_{c,0,d,fi}$	Návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny při požáru [MPa]
$\sigma_{c,90,d}$	Návrhové napětí v tlaku kolmo na vlákna [MPa]
$\sigma_{m,d}$	Návrhové napětí v ohybu [MPa]
$\sigma_{m,d,fi}$	Návrhové napětí v ohybu při požáru [MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	Návrhové napětí v ohybu k ose y [MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	Návrhové napětí v ohybu k ose z [MPa]
$\sigma_{t,0,d}$	Návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
σ_w	Výsledné napětí ve svaru [MPa]
σ_{\perp}	Normálové napětí kolmé na nebezpečný průřez [MPa]
τ_F	Napětí vyvolané účinkem normálové síly [MPa]
τ_M	Napětí vyvolané účinkem ohybového momentu [MPa]
$\tau_{v,d}$	Návrhové napětí ve smyku [MPa]
$\tau_{v,d,fi}$	Návrhové napětí ve smyku při požáru [MPa]
τ_{\perp}	Smykové napětí kolmé k ose svaru [MPa]
τ_{\parallel}	Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru [MPa]
Ψ	Součinitel pro kombinační hodnoty proměnlivého zatížení [-]

Úvod

Dřevo jako takové, je mi ze všech materiálů nejbližší, především vzhledem, ale také jeho vlastnostmi. Dřevo se dá kombinovat i s jinými materiály. Kombinací dřeva s ocelí je možno dosáhnout neobyčejných vlastností a vytvářet tak architektonicky flexibilní stavby, jako například rozhledny, zastřešení rozsáhlých objektů nebo výškové budovy. Současné dřevostavby, jejichž nosný systém tvoří těžký skelet, lze navrhovat s variabilním dispozičním řešením, které zároveň vytváří příjemné prostředí pro pohodlné bydlení. Proto jsem si toto téma vybral k bakalářské práci, kde se budu snažit takovou stavbu navrhnout.

Součástí práce je také rešerše moderních nosných systémů staveb na bázi dřeva používaných ve světě. Tato rešerše má čtenáře stručně seznámit s problematikou jednotlivých typů systémů.

Hlavním cílem bakalářské práce je navrhnout a posoudit nejen nosnou konstrukci, prostorové vyztužení a jejich spoje, ale také dispoziční řešení přízemního rodinného domu na bázi dřeva. Opláštění budovy musí splňovat tepelně technické požadavky a zajistit tak tepelnou pohodu uvnitř objektu. Také musí být zabráněno průniku vzduchu konstrukcí, a tak vzniku tepelných mostů. Nosnou konstrukci tvoří těžký dřevěný skelet, který se sestává ze sloupů v pravidelném rastru a vaznic, které musí splňovat podmínky na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Důležitým kritériem je zajištění prostorové tuhosti objektu a vyřešení spojů nosných prvků. K přenosu zatížení ze sloupů do zeminy slouží základové patky. Hlavní nosné prvky (sloupy, vaznice), budou také posouzeny na požární odolnost. Pro menší obytné budovy je požární odolnost nosné konstrukce stanovena na R30, pro bezpečný únik osob z objektu.

Navrhnout a posouzen bude také přístřešek pro auto, který bude přiléhat k fasádě rodinného domu. Přístřešek bude budován dodatečně, tzn. že není součástí rodinného domu, ale samostatná konstrukce. Proto musí být stejně jako nosná kostra rodinného domu zajištěna prostorová tuhost objektu. Na venkovní konstrukci působí větší míra vlhkosti než na konstrukci vnitřní. Proto je potřeba takovou konstrukci náležitě ochránit. Z důvodu zabránění vzlínání vody z povrchu komunikace, je nutné sloupy výškově odsadit. K tomu slouží výškově nastavitelné kotevní patky.

1. Rešerše nosných systémů staveb pro bydlení na bázi dřeva

V historii bylo dřevo nejpoužívanějším materiálem pro výstavbu budov pro bydlení, z důvodu jeho nadbytku v místech, kde probíhala intenzivní kolonizace. V 18. století přišel zlom a stavby na bázi dřeva bylo pod výhružkou vysokých trestů z důvodu bezpečnosti zakázáno stavět. Lidé tak změnili pohled na stavbu dřevěných domů. V polovině 20. století masivně vzrostla výstavba betonových budov panelového typu. Z toho důvodu je v současné době zastoupení dřevostaveb na území ČR kolem 2 %. [10]

Jako každý stavební materiál, má i dřevo své výhody, díky kterým může konkurovat jiným stavebním materiálům. Největší výhodou dřeva je, že se jedná o obnovitelný materiál, který je také v případě nutnosti snadno recyklovatelný. Dalšími pozitivními vlastnostmi jsou dobré účinky na vnitřní klima, estetický vzhled, příjemná vůně, regulování vlhkosti, zvýšení pocitu tepla, vynikající stavebně technické vlastnosti a také je potřeba zmínit krátkou dobu výstavby [10].

Konstrukční systémy staveb na bázi dřeva se rozlišují vzhledem, konstrukcí nebo přenosem zatížení.

Základními typy jsou:

- srubové stavby
- hrázděné stavby
- sloupkové systémy (Ballon-Frame, Platform-Frame)
- rámové stavby
- skeletové stavby
- stavby z masivního dřeva [6]

1.1. Srubové stavby

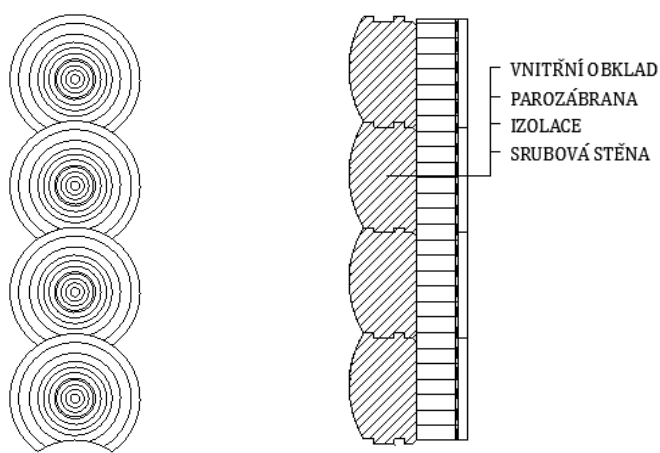
Srubové stavby se řadí mezi tradiční a atraktivní technologie používané zejména v horských oblastech švýcarských, německých a rakouských Alp nebo v oblastech, které disponují větším množstvím jehličnatého dřeva. [6]

Výhodou tohoto systému je maximální využití vlastností dřeva, jako je schopnost regulace vnitřní vzdušné vlhkosti, filtrace vzduchu a absorpce škodlivin. Naopak

nevýhodou je velká spotřeba dřeva, velká míra sedání a kvůli specifickému vzhledu se nehodí do obrazu současného stavitelství. [10]

Stavby jsou prováděny roubením, tzn. tvořené trámy libovolného průřezu (např. profil tvaru „D“, švédský oblouk (Obr. 1.1)) pokládány vodorovně na sebe. Spoj je nejčastěji na péro a drážku, který je zajištěn lepidlem nebo tmelem. V rozích jsou spojeny tesařskými spoji různého typu.

S vyššími požadavky člověka na bydlení jsou tradiční, jednovrstvé stěny nahrazeny vícevrstvámi (Obr. 1.1)).



Obr. 1.1 Jednovrstvá srubová stěna tvořena švédskými oblouky (vlevo) a vícevrstvá srubová stěna tvořena průřezem tvaru „D“ (vpravo) [6]

Z hlediska technologie výroby se srubové stavby dělí na pravé (tradiční), moderní a sendvičové (falešné) sruby.

Srubová stavba je znázorněná na obrázku Obr. 1.2.



Obr. 1.2 Srubová stavba [13]

1.2. Hrázděné stavby

Na rozdíl od srubových staveb, se hrázděné stavby používaly v oblastech s menším množstvím dřeva. Tento systém staveb se převážně používá ve východní a střední Evropě, ale také v Anglii, severním Německu, Dánsku a Nizozemsku.

Stěny tvoří hranolová kostra, která se skládá z vodorovného prahu, sloupku (rohový, okenní, vazný, dveřní a mezilehlý), vzpěr a příček. Spoje sloupků, vzpěr a příček jsou řešeny výhradně čepy, popřípadě zapuštěním u více namáhaných vzpěr. Vzpěry zajišťují tuhost v rovině stěny a přenášejí vodorovně působící síly do podpor. Stěnová vaznice slouží k zabránění vybočení sloupků a vzpěr.

Viditelná nosná konstrukce stěny se u moderních hrázděných staveb převážně nevyskytuje. U tradičních hrázděných staveb bylo udržování viditelných nosných konstrukcí často náročné a drahé. Výhodou hrázděných staveb je jednoduchá montáž a možnost vícepatrové výstavby. Nevýhodou je velké sedání objektu, kterému se dá zabránit dostatečně vysušeným dřevem.

V ČR jsou hrázděné stavby převážně realizovány v severních a západních Čechách v kombinaci s roubenou nebo zděnou stavbou.

Tradiční hrázděná stavba je znázorněná na obrázku Obr. 1.3



Obr. 1.3 Tradiční hrázděná stavba [12]

1.3. Lehké skeletové systémy

Tento systém vznikl v 19. století v USA a postupně se rozšířil do Evropy. Vychází ze systému hrázděných staveb. Základní systém je takzvaný „two-by-four“, kde byly používané převážně nosné sloupky 50×100 mm neboli 2×4 palce (v americké míře). Z důvodu navazujících velkoplošných prvků jsou od sebe umístěny v osových vzdálenostech 400-700 mm (přednostně 625 mm) (Obr. 1.4).

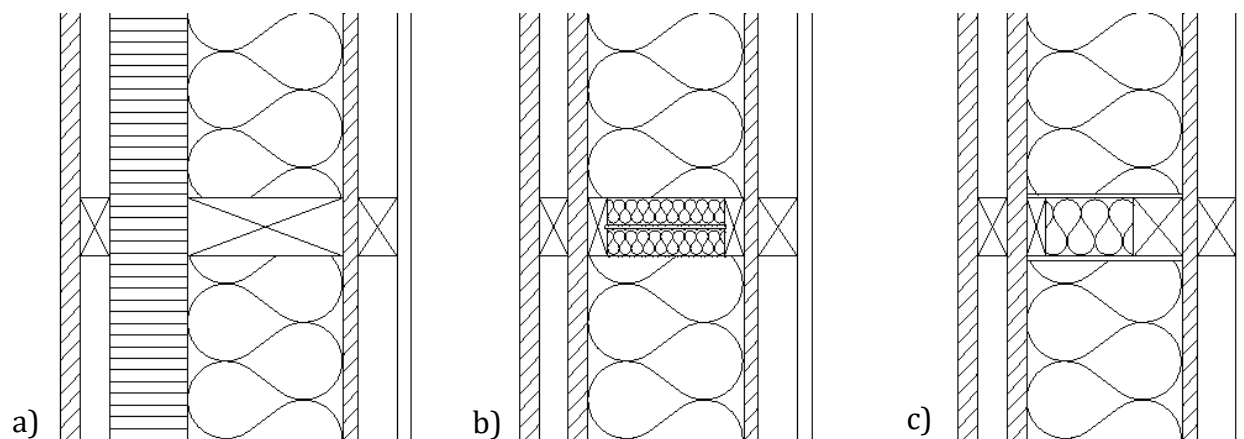
Nosná konstrukce stěn je tvořena z tyčové nosné kostry, která se skládá ze spodního prahu a horního rámu, mezi kterými jsou v osové vzdálenosti seřazeny sloupky. Stabilita nosné konstrukce je zajištěna venkovním bedněním z masivního dřeva, které taky přenáší vodorovné zatížení větrem. Pro rámové stavby vyhovují průřezy sloupků 60×120 mm, ale vzhledem k větším požadavkům na tloušťky izolací se výška průřezu pohybuje v rozmezí 160-240 mm nebo se použije další vrstva izolace nezávislá na nosné konstrukci. Navíc zabraňuje vzniku tepelných mostů a je tak upřednostňována. Dalším řešením pro minimalizaci vzniku tepelných mostů je použití průřezu tvaru I nebo systém sestávající se z nosné konstrukce, izolační látky a distanční vložky (Obr. 1.5). Stavba tak ve výsledku disponuje dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Spoje se provádí kontaktními styky a mechanickými spojovacími prostředky. [6]

Hlavní výhodou lehkých skeletů je volnost architektonického řešení a také díky možnosti vysokého stupně prefabrikace je výstavba konstrukce velmi rychlá. Nejčastější způsob realizace rámových staveb je sestavení kostry i s opláštěním ve výrobní hale. Prefabrikované díly se následně po převozu na staveniště smontují. Mezi další výhody se řadí energetická úspornost, životnost, tepelná stabilita, možnost realizace v zimě, čistá a suchá montáž.

Tento systém je tradičním a nejrozšířenějším konstrukčním systémem ve větší části Evropy.

*Obr. 1.4 Výstavba stavby
sloupkového systému [21]*





Obr. 1.5 Skladba stěny lehkého skeletu proti vzniku tepelných mostů [6]

a) dvouvrstvá izolace, b) 1 průřez, c) distanční vložka (izolační sloupek)

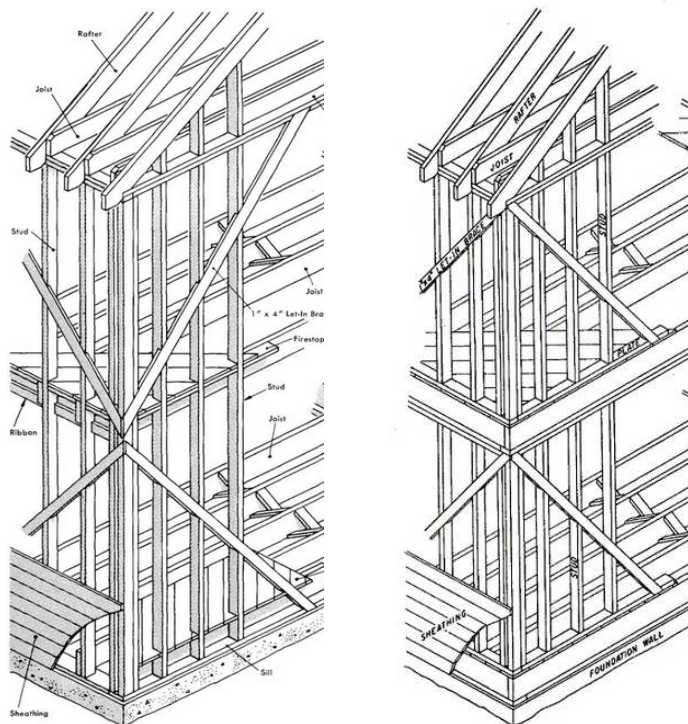
V severní Americe se převážně používají dva typy lehkých skeletů:

Ballon-Frame

U tohoto systému procházejí sloupky skrz dvě nebo více podlaží. Spodní a horní uzavření tvoří vodorovná prkna (prahy a vaznice). (Obr. 1.6)

Platform-Frame

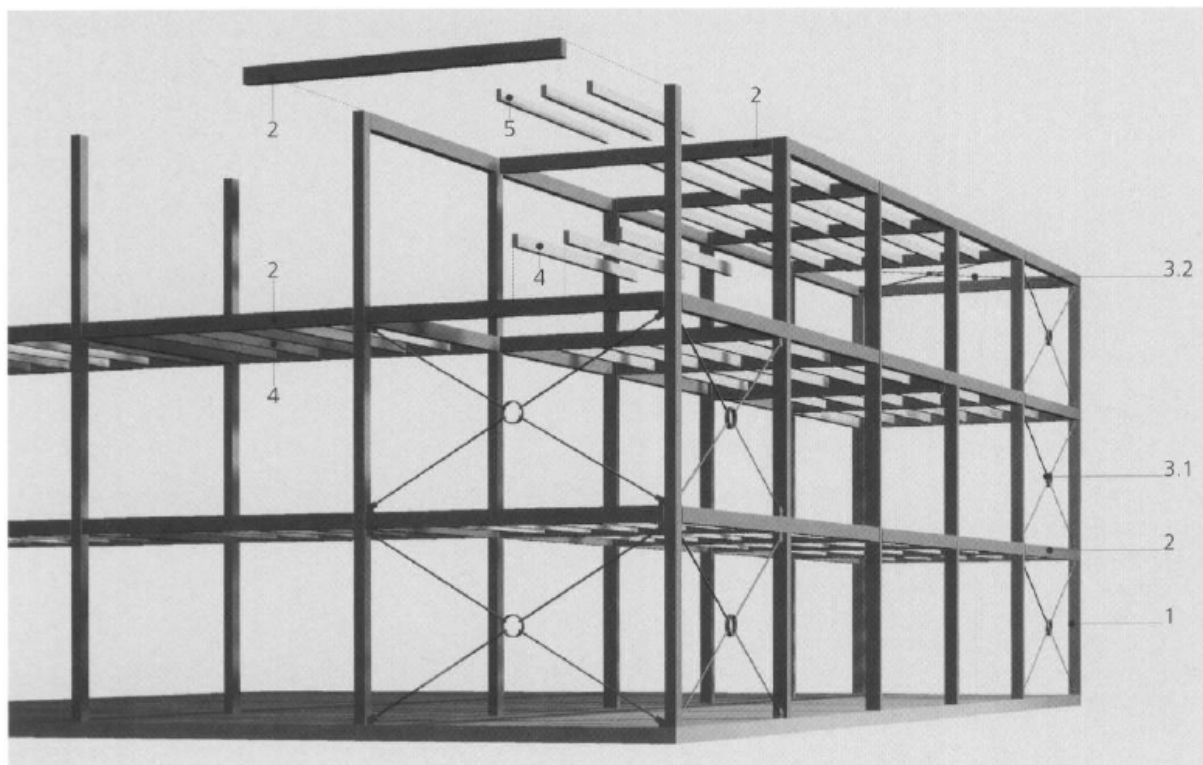
Sloupky tohoto systému jsou pouze na výšku jednoho podlaží a na ně se osadí strop, což umožňuje vytvořit pracovní plochu pro sestavení dalšího podlaží. Výhodou je variabilní skelet s flexibilním dispozičním a architektonickým řešením. (Obr. 1.6)



Obr. 1.6 Balloon-Frame (vlevo) [11], Platform-Frame (vpravo) [17]

1.4. Těžký dřevěný skelet

Těžký dřevěný skelet vychází ze systému hrázděných staveb. Od hrázděných staveb se tento systém liší vynecháním šikmých vzpěr a zatížení je do základu přenášeno pouze skeletem, popřípadě doplňujícími výztužnými prvky (Obr. 1.7). Objekt lze tedy rozdělit na primární a sekundární konstrukci. Primární část konstrukce tvoří skelet. Skelet je prostorový nosný systém tvořený sloupy a vodorovnými nosníky (průvlaky) nahrazující horní rámy. Spolupůsobení jednotlivých nosných prvků zajišťují inženýrské spoje (vruty, svorníky, ...) a proto se musí věnovat velká pozornost při jejich navrhování. Sloupy jsou kotveny do základových patek a musí být zajištěna konstrukční ochrana proti vztlínání vlhkosti do dřeva ze základové konstrukce. Sekundární část konstrukce zahrnuje stropy a stěny, které plní pouze funkci dělicí a výplňovou. [10]

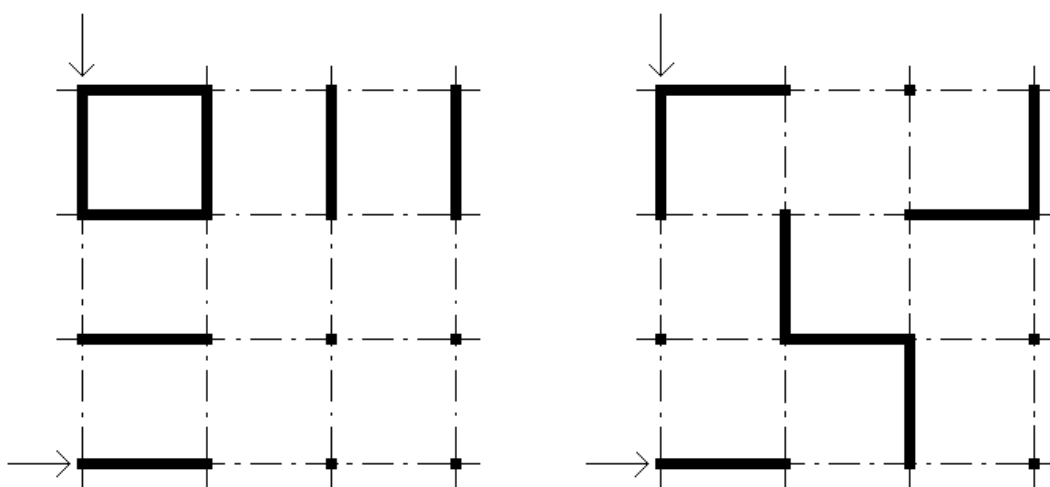


Obr. 1.7 Vizualizace skeletové konstrukce [6]

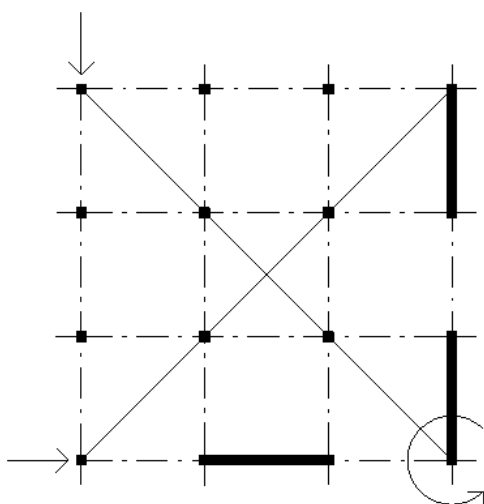
1 - sloup, 2 - nosník, průvlak, 3 - ztužení (1 - svislé, 2 - vodorovné),
4 - trámový strop, 5 - krokve

Skelet jako takový, není dle podmínky rovnováhy schopný přenést vodorovné zatížení do základu. Konstrukce se tak stává nestabilní a musí se doplnit o výztužné prvky. Vyztužení se provádí ve svislém a vodorovném směru pomocí výztužných tabulí (vyztužené stěny) nebo zavětrovacími ztužidly ve střešní nebo stropní rovině. Svislá

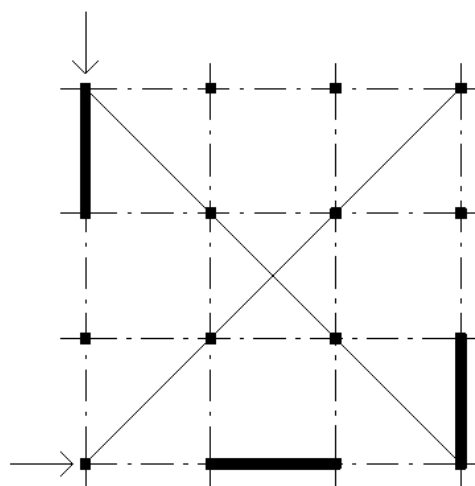
stabilita konstrukce se zajišťuje masivními vestavěnými prvky. Rozlišují se dva typy vyztužení. První typ spočívá ve vyztužení pouze stěnovými tabulemi. Umístění stěn může být různé, ale musí být zachována podmínka, aby byla stěna umístěna v každé příčné a podélné ose modulové sítě. Nevýhodou tohoto typu je omezené dispoziční řešení (Obr. 1.8). Tento problém se netýká druhého typu vyztužení, kde základem jsou tři výztužné tabule (stěna, dřevěná nebo ocelová diagonála), které se z důvodu nahodilého kroucení nesmí stýkat v jednom bodě (Obr. 1.9). Tuhá tabule pro přenos vodorovných sil může být tvořena pomocí dřevěných desek s dostatečnou smykovou tuhostí nebo ocelových diagonál v rovině stropu nebo střechy (Obr. 1.10). [6][10]



Obr. 1.8 Vyztužení pouze stěnami

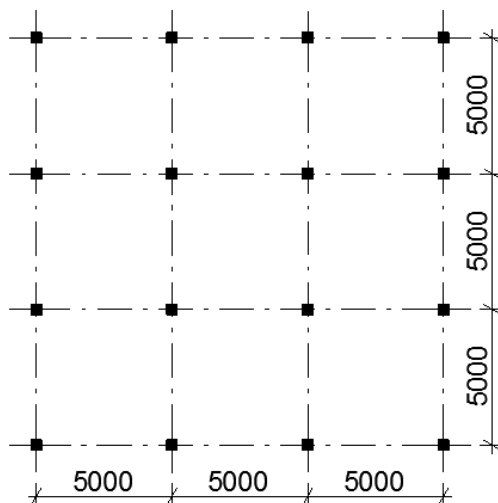


Obr. 1.9 Chybné vyztužení



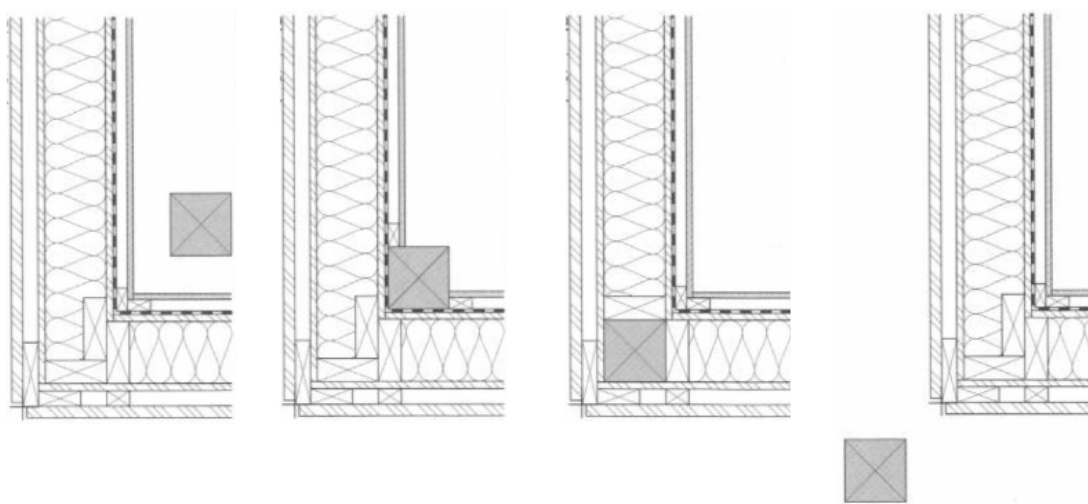
Obr. 1.10 Vyztužení stěnami a vodorovnými tabulemi

Podle účelu a návrhu stavby je určená vzdálenost sloupů neboli rastr. Velikost rastru vychází ze základního modulu, který je 625 mm. Následná modulová síť je dána násobkem tohoto modulu. Nejčastěji se volí větší půdorysný rast, např. 3750×3750 mm nebo 5000×5000 mm (Obr. 1.11), neboť výsledné průřezy sloupů jsou sice větší, ale za cenu menšího použití cenově náročných spojů. [6]



Obr. 1.11 Příklad zobrazení modulové sítě (rastru)

Umístění sloupů vzhledem k obvodové stěně je libovolné, neboť obvodová stěna nepřenáší žádné zatížení. Proto nehraje roli, jestli je umístěna mezi, za nebo dokonce před nosnou konstrukci. Toto umístění je znázorněno na Obr. 1.12, kde je jako první varianta sloup uvnitř objektu. Nosná konstrukce je chráněná před povětrnostními vlivy, ale pokud se jedná o menší bytový objekt, může docházet k problémům s dispozicí obývacích prostorů. U druhé varianty je sloup také umístěn uvnitř a je chráněn proti klimatickým a povětrnostním vlivům, ale oproti první variantě tolik nezasahuje do interiéru. Tato varianta je nejvhodnější, nejspolehlivější a nejtrvalejší, neboť nedochází k průnikům tepelné izolace, parozábrany a neprůvzdušné izolace, a tak nevznikají tepelné mosty v obvodové stěně. Ve třetí variantě je sloup umístěn v obvodovém plášti, kde už ovšem dochází k průnikům větru přes vodorovné nosné konstrukce (nosníky, vaznice) a případně také krokvy. Dochází tak ke vzniku tepelných mostů, nehledě na to, že napojení neprůvzdušné vrstvy a parozábrany bývá náročné. Poslední varianta se z pravidla nepoužívá. Sloup je umístěn vně objektu a zajištění proti průniku vzduchu do konstrukce bývá náročné, skoro až nemožné. [6]

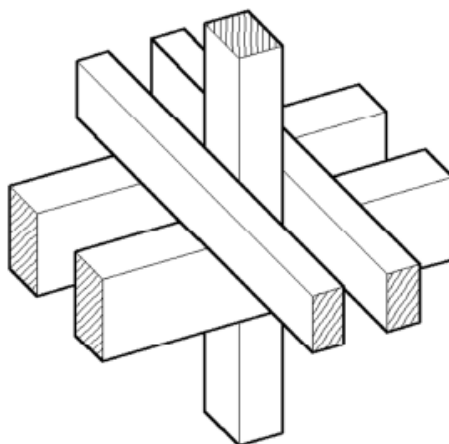


Obr. 1.12 Umístění sloupu vzhledem k obvodové stěně [6]

Podle uspořádání nosných prvků a jejich vzájemného spojení jsou skeletové konstrukce rozděleny na tyto typy:

1.4.1. Konstrukce s jednodílným sloupem a dvoudílným nosníkem

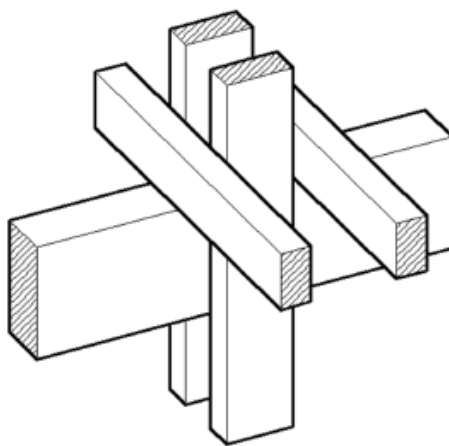
Tento druh konstrukce je používán (stejně jako 1.4.2, 1.4.4 a 1.4.5) pro vícepodlažní stavby. Nosník je proveden jako dvoudílný (Obr. 1.13) a ke sloupu je připojen ocelovými spojovacími prostředky, jako jsou například přesné šrouby nebo svorníky (podobně jako spoj kleštiny s krokví). Nevýhodou je možnost vzniku tepelných mostů v obvodovém plášti, neboť převislé konce mohou prostupovat fasádou. Vzhledem k požadavkům na co nejmenší prostupy nosné konstrukce stěnou je tento typ méně používán. [6]



Obr. 1.13 Jednodílný sloup a dvoudílný nosník [5]

1.4.2. Konstrukce s dvoudílným sloupem a jednodílným nosníkem

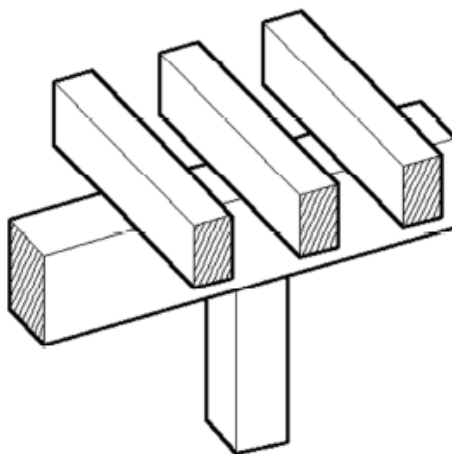
Z důvodu rozdělení průřezu sloupu na dvě části (Obr. 1.14) se razantně změní nejen štíhlost, ale také požární odolnost a je třeba zabudovat průběžné vložky, které lze také využít jako podporu pro hlavní nosník. Sloup se následně neposuzuje pouze jako celek, ale taky se musí posoudit jako tlačенý členěný prut, neboť díky větší štíhlosti je náchylnější na vybočení. Nevýhodou je opět vznik tepelných mostů v obvodovém plášti. [10]



Obr. 1.14 Dvoudílný sloup a jednodílný nosník [5]

1.4.3. Konstrukce s jednodílným sloupem a jednodílným nosníkem

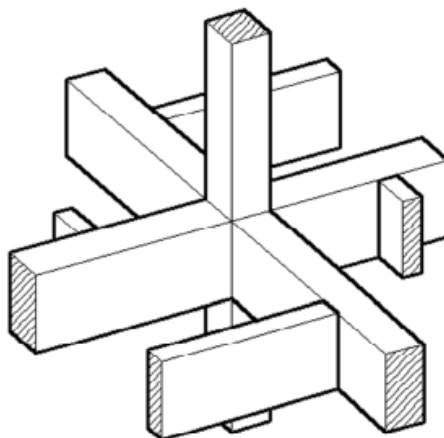
Jednodílný nosník je z vrchu přiložen na sloup a veškeré zatížení je přenášeno kontaktním tlakem kolmo k vláknům (Obr. 1.15). To je nespornou výhodou tohoto systému, neboť nejsou potřeba speciální spojovací prostředky. Konstrukci je potřeba zajistit, aby nedocházelo k nadzdvížení vodorovných prvků vlivem sání větru. To lze provést např. zářezy, čepy nebo vlepuvanými závitovými tyčemi. Tento typ je vhodný pro stavby o jednom podlaží s plochou střechou. [10]



Obr. 1.15 Jednodílný sloup a jednodílný nosník [5]

1.4.4. Konstrukce s jednodílným sloupem a přilehlým nosníkem

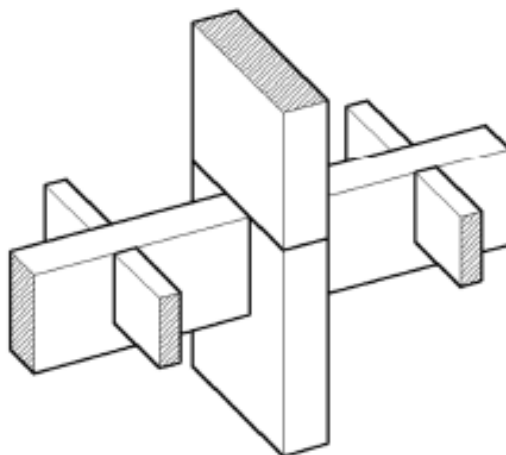
Výhodou tohoto systému je, že přípoj na sloup je možný ze všech čtyř stran v libovolné výšce sloupu (Obr. 1.16). Tento typ je vhodný pro stavby, u kterých nosná konstrukce leží na vnitřní straně obvodového pláště. Stěny se pak osazují na konstrukci z venku a balkóny se osazují nezávisle na skelet. Z tohoto důvodu nedochází k průnikům pláště a tím vzniku tepelných mostů. [6]



Obr. 1.16 Jednodílný průběžný sloup a vícedílný hlavní nosník [5]

1.4.5. Vidlicový sloup

Nosná konstrukce sloupu je opatřena drážkou, do které je zapuštěn hlavní nosník (Obr. 1.17). Sloupy se vzájemně spojí přes boční vidlice. Z důvodu podélně stavěných prvků zůstává bobtnání a sesychání minimální. Výhodou je také velká pevnost, takže je konstrukce schopná přenášet velká zatížení. [6]



Obr. 1.17 Vidlicový sloup [5]

Výhodou těžkého dřevěného skeletu je možnost velké prostorové variability. Tento prostor je dále rozdělen lehkými příčkami ze sádrokartonu nebo sádrovláknitých programů. Mezi další výhody se bezesporu řadí i rychlost výstavby a nezávislost nosných konstrukcí na opláštění budovy. I přes velkou únosnost nosné konstrukce je počet podlaží dřevěných konstrukcí omezen z důvodu požární bezpečnosti. [6]

Na Obr. 1.18 je znázorněn rodinný dům s přiznanou masivní skeletovou konstrukcí.



Obr. 1.18 Rodinný dům s viditelnou nosnou skeletovou konstrukcí [20]

1.5. Stavby z masivního dřeva

Stavby z masivního dřeva se stávají současným trendem, který se snaží co nejvíce přiblížit přírodě a zároveň si udržet funkční a moderní design.

Konstrukční systémy jsou převážně tvořeny z masivního dřeva nebo také z desek na bázi dřeva a skládá se z nich hlavní nosná část, tzv. nosné jádro z plného či složeného průřezu, které je schopné přenést velké účinky zatížení (Obr. 1.19). Na nosnou konstrukci se pak z venku osadí izolace (vnější izolační systém). Vnitřní strana nosné stěny zůstává viditelná nebo je opatřena obkladem, např. sádrokartonem. Soustředěná zatížení jsou přenášena pomocí sloupů, které jsou kotveny ke stěnovým deskám. Do tohoto systému lze zařadit také srubové stavby (kapitola 1.1), které jsou také tvořeny masivními dřevěnými prvky. [6]

Plošné dílce jsou tvořeny skládáním nebo vrstvením přířezů, které jsou spojovány lepením nebo pomocí spojovacích prostředků jako jsou hřebíky, vruty, šrouby nebo

kolíky z tvrdého dřeva, které se zalisovávají do předem připravených otvorů. [10] Z těchto plošných dílců se sestávají hlavní nosné části objektu jako stěny, stropy a střešní roviny.

Jak již bylo řečeno, tak nosné jádro je tvořeno z masivního dřeva, ale existují i takové systémy, které obsahují dutiny. Staticky tyto systémy působí jako deska nebo vyztužená tabule, ohraničující vnější plochy, které jsou vyplněny stojinami, tzv. skříňové systémy. Mezi stavby z masivního dřeva se zahrnují stavby, u kterých je masivní podíl dřeva nejméně 50 %. Rámové systémy neboli systémy s tyčovou nosnou kotrrou se mezi stavby z masivního dřeva neřadí. [6]

Po dopravě prefabrikovaných dílců na staveniště se jednotlivé plošné dílce přemístí pomocí těžké techniky a spojí s dalšími dílci kovovými spojovacími prostředky. Tím se vytvoří nosné jádro stavby. [16]

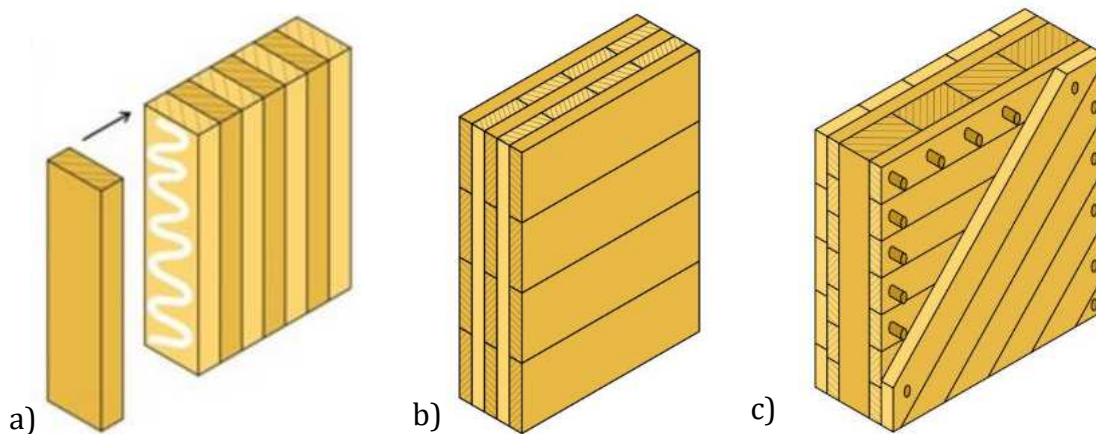


Obr. 1.19 Konstrukce obytného domu z masivního dřeva [14]

Výhodou tohoto systému je ukládání elektroinstalací do vyfrézovaných drážek v masivním dřevěném panelu. [10] Naopak velkou nevýhodou použití dřevěných masivních bloků je sesychání a bobtnání. Dřevo, jak je známo, pohlcuje vlhkost a v závislosti na obsahu pohlcené vlhkosti mění svůj objem. Proto je potřeba této problematice věnovat velkou pozornost. Jedním z opatření je použití křížově slepené desky nebo desky spojované kolíky. Tyto desky jsou rozměrově stálé, neboť vykazují menší míru bobtnavosti a sesychání díky příčnému uspořádání vrstev řeziva. Dalším opatřením je zajištění odpovídající vlhkosti dřeva při zabudování, což se u obytných staveb pohybuje kolem 12 % (u stropů nejvýše 18 %). [6]

1.5.1. Plné průřezy velkoplošných dílců

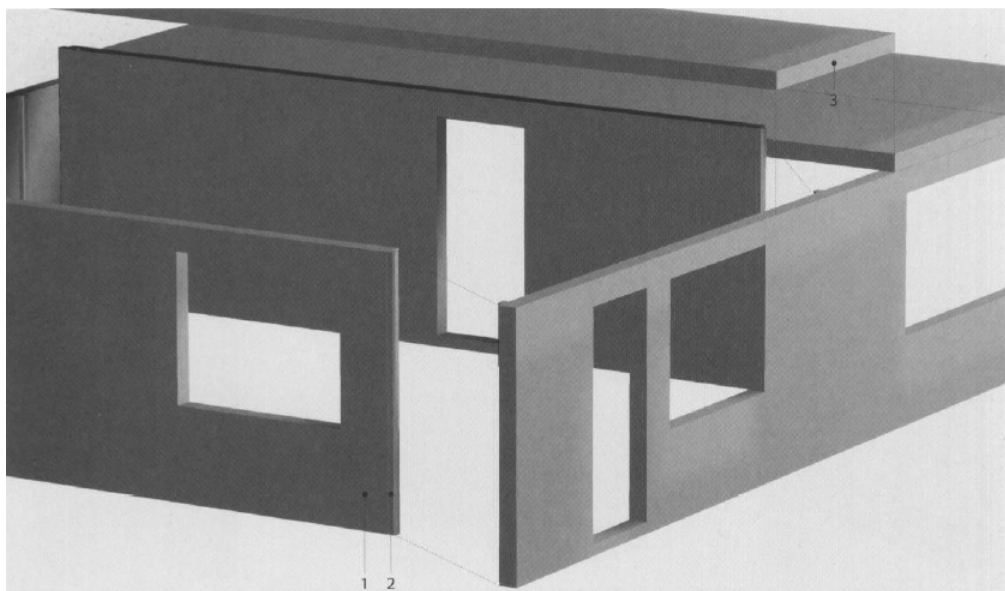
Mezi tyto systémy se řadí křížově slepené řezivo, vrstvené řezivo nebo křížově kolíkové dílce (Obr. 1.20). Masivní panely jsou tvořeny z jedné, tří, pěti nebo více vrstev a jejich tloušťka je dána velikostí přenášeného zatížení a také vzpěrnou délkou.



Obr. 1.20 Příklady plných průřezů [18]

a) křížově slepené řezivo, b) vrstvené řezivo, c) křížově kolíkové dílce

Jednotlivé dílce jsou spojovány na péro a drážku a rohy jsou zajištěny mechanickými kovovými prostředky kolíkového typu (Obr. 1.21). Stropní panely se ukládají na stěnové dílce a díky příčnému vrstvení desky je zajištěna únosnost v obou směrech. [5]

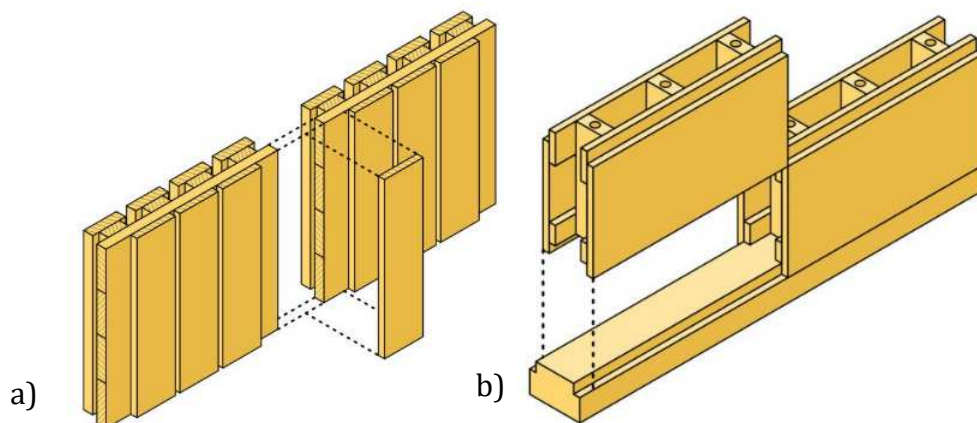


Obr. 1.21 Konstrukce z masivního dřeva plného průřezu [6]

(1 - stěnová deska, 2 - sloupek okenního rámu (spojovací díl), 3 - stropní deska)

1.5.2. Složené průřezy velkoplošných dílců

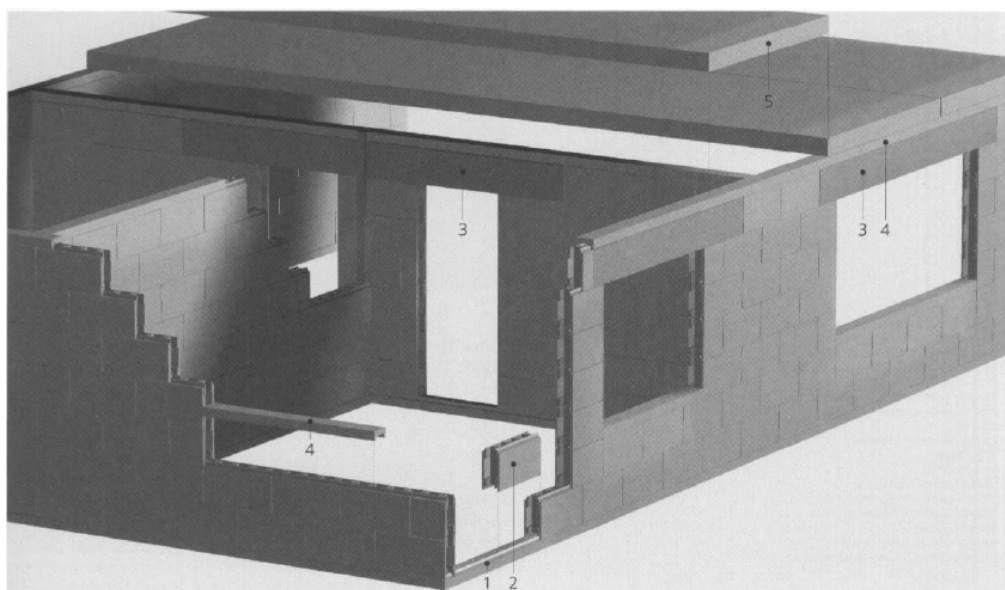
Masivní bloky jsou vytvářeny příčným lepením s množstvím uspořádaných dutin ve vodorovném i svislém směru (Obr. 1.22), které slouží k vyplnění izolací nebo je lze použít pro hadicové instalace technického vybavení budovy. Tloušťku vnější izolace lze díky spolupůsobení s dutinovou izolací redukovat na minimum.



Obr. 1.22 Příklady složených průřezů [18]

a) příčné lepení s mezerami, b) dřevěný modulový-zásuvný systém

Spojením dílců je vytvořena vyztužená tabule, která brání vybočení a je schopna přenášet účinky svislého a vodorovného zatížení rovnou do základů. Velká či soustředěná zatížení lze zajistit přídatnými sloupy integrovanými do stěnového systému. Výstavba se podobá zděným konstrukcím, kdy lze jednotlivé dílce zasunovat do vazeb díky speciálnímu spojení v rastrovém rozměru (Obr. 1.23). [5]

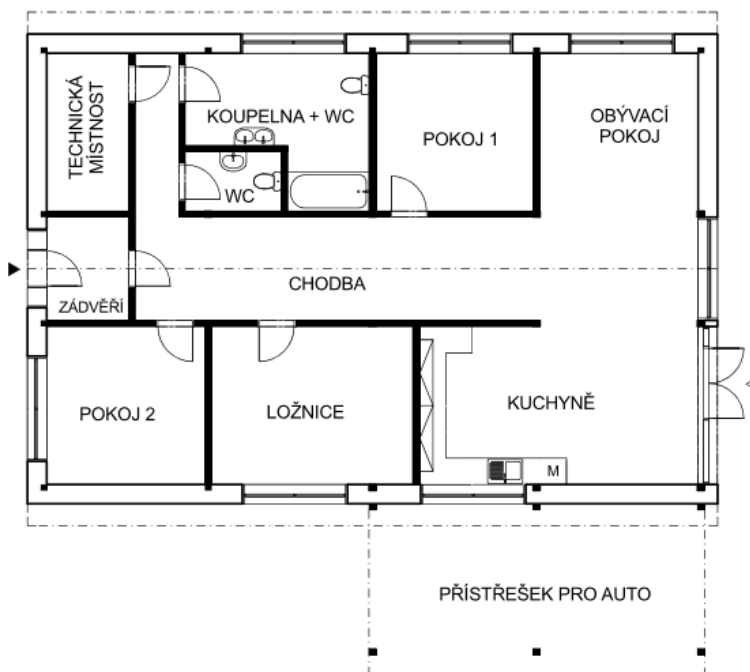


Obr. 1.23 Konstrukce z masivního dřeva složeného průřezu [6]

(1 - práh, 2 - zásuvné moduly, 3 - překladevé dílce, 4 - horní rám, 5 - stropní dílec)

2. Dispoziční řešení

Přízemní stavba rozměrů 10 × 15 metrů. Vstup do objektu je orientován ze severní strany. V objektu se nachází dva dětské pokoje, ložnice, kuchyně propojená s obývacím pokojem, zádveří, chodba, technická místnost, WC a koupelna s WC. Výhodou těžkého skeletu je možnost použití prosklených stěn, proto větší část na jižní straně bude prosklená (Obr. 2.1).



Obr. 2.1 Dispoziční uspořádání rodinného domu

Na následujících obrázcích (Obr. 2.2 až Obr. 2.4) je znázorněná přibližná vizualizace rodinného domu.



Obr. 2.2 Vizualizace severozápadní strany



Obr. 2.3 Vizualizace jihovýchodní strany objektu



Obr. 2.4 Vizualizace interiéru objektu

3. Konstrukční řešení objektu

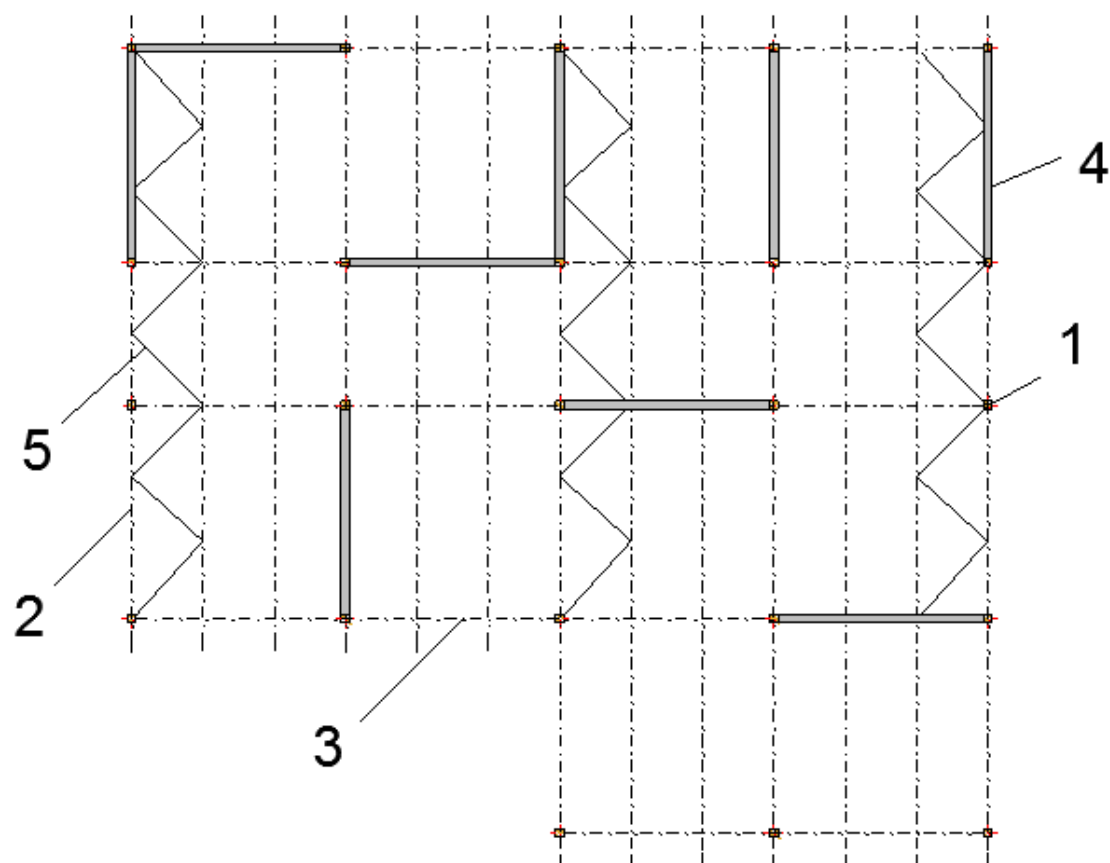
Nosná konstrukce těžkého skeletu se sestává z jednodílného sloupu průřezu 140×160 mm, na který je položena jednodílná vaznice průřezu 140×200 mm v podélném směru, tudíž se jedná o podélný konstrukční systém. V podélném směru jsou navrženy 4 rámy s osovou vzdáleností sloupů 3750 mm. Tyto rámy budou od sebe vzdáleny 3750, 2500 a 3750 mm. Nosné prvky budou k sobě uchyceny pomocí vložené styčníkové desky, připojené k prvkům svorníkovým typem spoje.

Střecha je navržena jako sedlová. V původním návrhu střešní konstrukce se uvažovalo s použitím krokví, ale kvůli komplikovanému řešení spojů pro tak nízký sklon byl zvolen dřevěný příhradový vazník se styčníkovými deskami s prolisovanými trny. Příhradový vazník bude uložen na vaznice v osových vzdálenostech 1250 mm a spojen pomocí spojovacího úhelníku od firmy BOVA.

Na západní straně bude dodatečně přistavena dřevěná konstrukce přístřešku pro auto (viz kapitola 5).

Prostorová tuhost je zajištěna ve svislé rovině pomocí dřevěných ztužidel. Stabilita příhradových vazníků je zajištěna pomocí vyztuženého pole (viz kapitola 4.5), které se sestává z vodorovných dřevěných ztužidel a Ondřejových křížů (Obr. 3.1). V rovině horních pásů bude jako ztužení navrženo střešní bednění tloušťky 27 mm. V rovině dolních pásů bude působit jako ztužení dřevěný rošt.

Založení objektu bude na kloubových dvoustupňových patkách čtvercového tvaru v nezámrazné hloubce 800 mm z betonu C20/25. Ukotvení sloupu do betonové patky bude provedeno pomocí dvou kotevních šroubů M16 8.8. Kotevní hlava šroubu bude zabetonována do betonové patky. Tím se zajistí přenos tahových sil v základu. V patě sloupu bude umístěna ocelová patní deska rozměrů $360 \times 360 \times 12$ mm (šířka \times délka \times tloušťka). K ocelové patní desce bude přivařena styčníková deska tloušťky 8 mm koutovým svarem tloušťky 3 mm. Styčníková deska se vloží do předem připravené drážky a spoj sloupu s deskou zajistí čtyři přesné svorníky M14 4.6. Mezi patkou a patním plechem bude provedeno podlití cementovou maltou tloušťky 40 mm. Pro přenos vodorovných sil nestačí pouze tlaková síla, proto bude ze spodu patního plechu přivařen úpalek z profilu HEB 100 výšky 100 mm.



Obr. 3.1 Schéma zajištění prostorové tuhosti objektu
(1 - sloup, 2 - vazník, 3 - vaznice, 4 - svislé ztužidlo, 5 - vodorovné ztužidlo)

4. Návrh a posouzení nosných prvků konstrukce objektu

Cílem této kapitoly je stanovit účinky zatížení vlastní tíhou konstrukce (zastřešení, vazníky, ...), užitným a klimatickým zatížením na navržené nosné prvky konstrukce a jejich následné posouzení dle mezního stavu únosnosti a mezního stavu použitelnosti. Posouzení dle těchto stavů a stanovení účinků zatížení vychází z následujících platných norem neboli Eurokódu:

Zatížení konstrukcí:

ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí, část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb [1]
část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem [2]
část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem [3]

Posouzení dřevěných prvků:

ČSN EN 1995: Navrhování dřevěných konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby [4]

4.1. Zatížení na konstrukci

Zatížení na konstrukci je vliv, způsobující přetvoření nebo změnu tvaru či polohy konstrukce. Popis zatížení se dělí podle čtyř základních vlastností: původ, proměnlivost v čase, odezva konstrukce na zatížení a proměnlivosti polohy v prostoru. Zatížení má stochastický charakter, jelikož se vlastnosti dají popsat pravděpodobnostními metodami. [9]

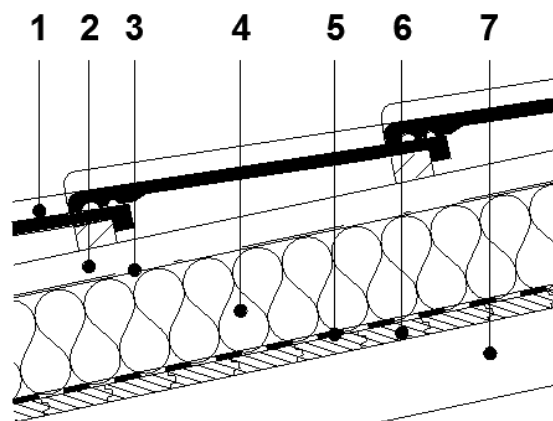
K praktickému výpočtu se používá metoda dílčích součinitelů. Při použití této metody se ve všech návrhových situacích musí ověřit, zdali nebyl překročen jeden z mezních stavů (MSÚ, MSP). Návrhové zatížení získáme ze vztahu:

$$q_d = q_k \times \gamma_f$$

4.1.1. Zatížení vlastní tíhou

Střešní plášť je tvořen systémem s vnější izolací a s jednovrstvým distančním laťováním. Oproti systému s mezilehlou izolací je celková výška střechy větší. Skladba střešního pláště (Tab. 4.1) je znázorněna na Obr. 4.1.

1. Krytina
2. Provzdušení
3. Podstřešní fólie
4. Tepelná izolace
5. Neprůvzdušná izolace,
parozábrana
6. Střešní bednění
7. Horní pás vazníku



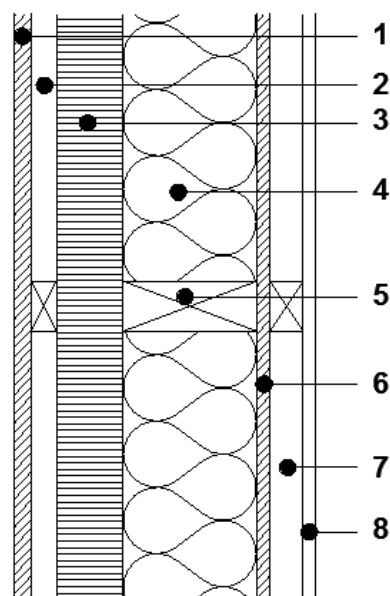
Tab. 4.1 Skladba střešního pláště

Obr. 4.1 Skladba střešního pláště

Název vrstvy	Údaje pro výpočet	Charakteristická hodnota zatížení [kNm^{-1}]
Krytina Tondach	$m = 40,7 \text{ kgm}^{-2}$	0,407
Tepelná izolace ISOVER	Tl. 160 mm, $\rho = 40 \text{ kgm}^{-3}$	0,064
Střešní bednění	Tl. 27 mm, $\rho = 420 \text{ kgm}^{-3}$	0,1134
Σ		0,5844

Vnější stěna je tvořena systémem s mezilehlou izolací, s přídatnou izolací a odvětráním (Obr. 4.2 a Tab. 4.2). Systém je samonosný, takže nemá ze statického hlediska v rámci posuzování nosnou funkci. Nosná konstrukce (sloup) je umístěna uvnitř objektu a je tak chráněna před účinky klimatických a povětrnostních vlivů, protože nedochází k průnikům ve vrstvách tepelné izolace, parozábraně ani neprůvzdušné vrstvě. Nedochází tak ke vzniku tepelných mostů a zajistí se tak delší životnost a spolehlivost konstrukce.

1. Venkovní obklad
2. Odvětrání
3. Dřevovláknitá izolační deska
4. Tepelná izolace
5. Nosná konstrukce
6. Deska OSB
7. Laťový rošt
8. Sádrovláknitá deska



Obr. 4.2 Skladba stěnového pláště

Skladba obvodového pláště splňuje tepelně technické požadavky.

Tab. 4.2 Skladba obvodového pláště

Název vrstvy	Údaje pro výpočet	Charakteristická hodnota zatížení [kNm ⁻¹]
Venkovní obklad	Tl. 20 mm, $\rho = 420 \text{ kgm}^{-3}$	0,084
Laťování	30/50 mm po 1 m, $\rho = 420 \text{ kgm}^{-3}$	0,0063
Dřevovláknitá izol. deska	Tl. 80 mm, $\rho = 200 \text{ kgm}^{-3}$	0,16
Tepelná izolace ISOVER	Tl. 160 mm, $\rho = 40 \text{ kgm}^{-3}$	0,064
Konstrukční hranol	160/50 mm po 1 m, $\rho = 420 \text{ kgm}^{-3}$	0,0336
Deska OSB	Tl. 15 mm, $\rho = 600 \text{ kgm}^{-3}$	0,09
Laťový rošt	Tl. 40/50 mm po 1 m, $\rho = 420 \text{ kgm}^{-3}$	0,0084
Sádrovláknitá deska Fermacell	Tl. 15 mm, $\rho = 1150 \text{ kgm}^{-3}$	0,1725
Σ		0,5548

4.1.2. Zatížení užité

Kategorie střechy **H**: Střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav.

Pro střechy kategorie **H** se kombinace užitého zatížení s ostatním náhodným zatížením (sníh, vítr) neuvažuje.

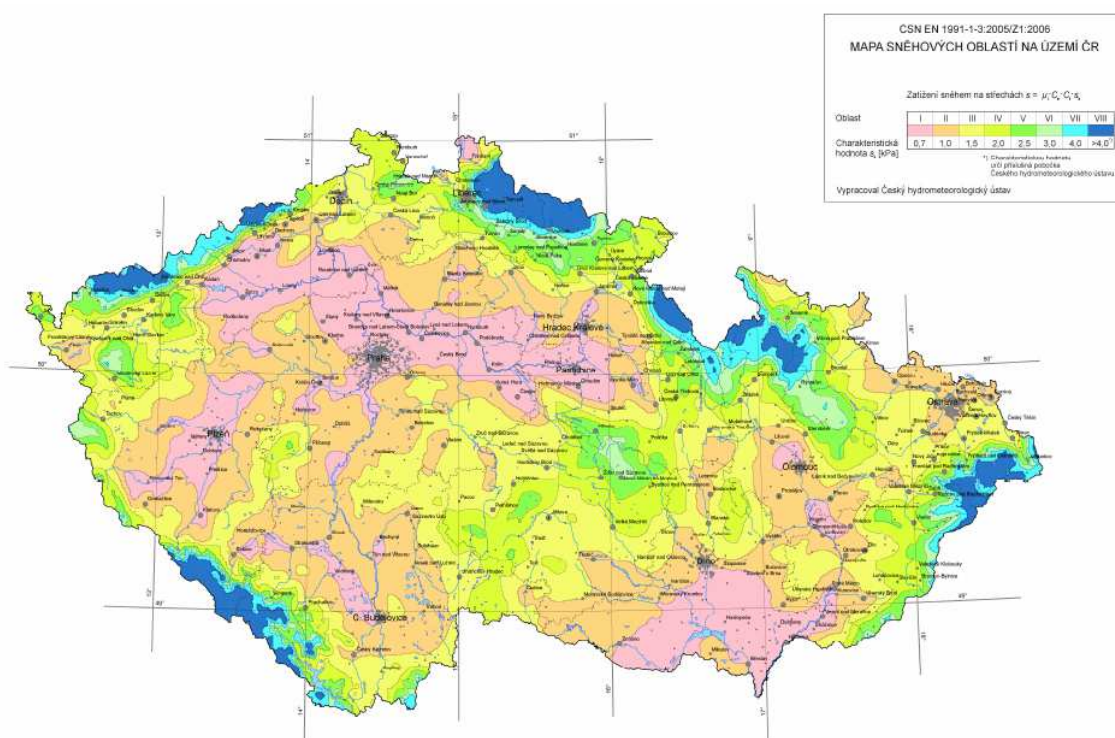
Charakteristická hodnota užitého zatížení $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ [1] je menší než zatížení sněhem $s_i = 0,8 \text{ kN/m}^2$ (viz podkapitola 4.1.3) a proto se ve výpočtu neuplatní. Dá se říct, že aby se osoba dostala na střechu, musí část sněhu odházet a tuto plochu pak nahradí svým zatížením.

4.1.3. Zatížení sněhem

Zatížení sněhem se považuje za proměnné zatížení a uvažují se trvalé a dočasné situace.

RD se navrhuje pro umístění ve městě Ostrava. Ostrava se nachází ve sněhové oblasti II. ($s_k = 1,0$) (Obr. 4.3) v nadmořské výšce 227 m n.m., tedy H je menší než 1000 m n.m. a typ krajiny je normální ($C_e = 1,0$). Sedlová střecha má tepelnou propustnost střechy menší než $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($C_t = 1,0$) se sklonem 15° . Tvarový součinitel μ_i je pro střechy s menším sklonem než 30° roven 0,8 [3].

$$s_i = \mu_i C_e C_t s_k \quad (4.1)$$

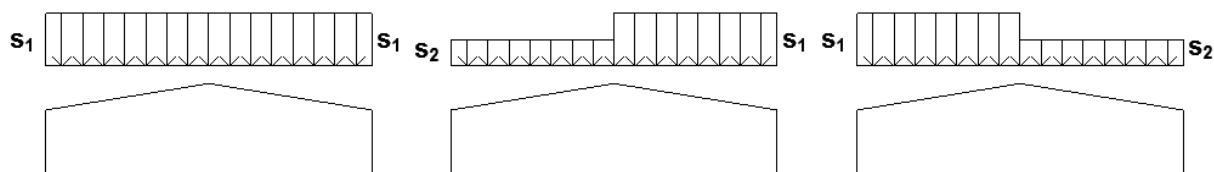


Obr. 4.3 Mapa sněhových oblastí ČR [2]

Zpravidla se posuzují dvě návrhové situace (Obr. 4.4): Zatížení navátým (s_1) a nenavátým sněhem (s_2) podle vzorce (4.1).

$$s_1 = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

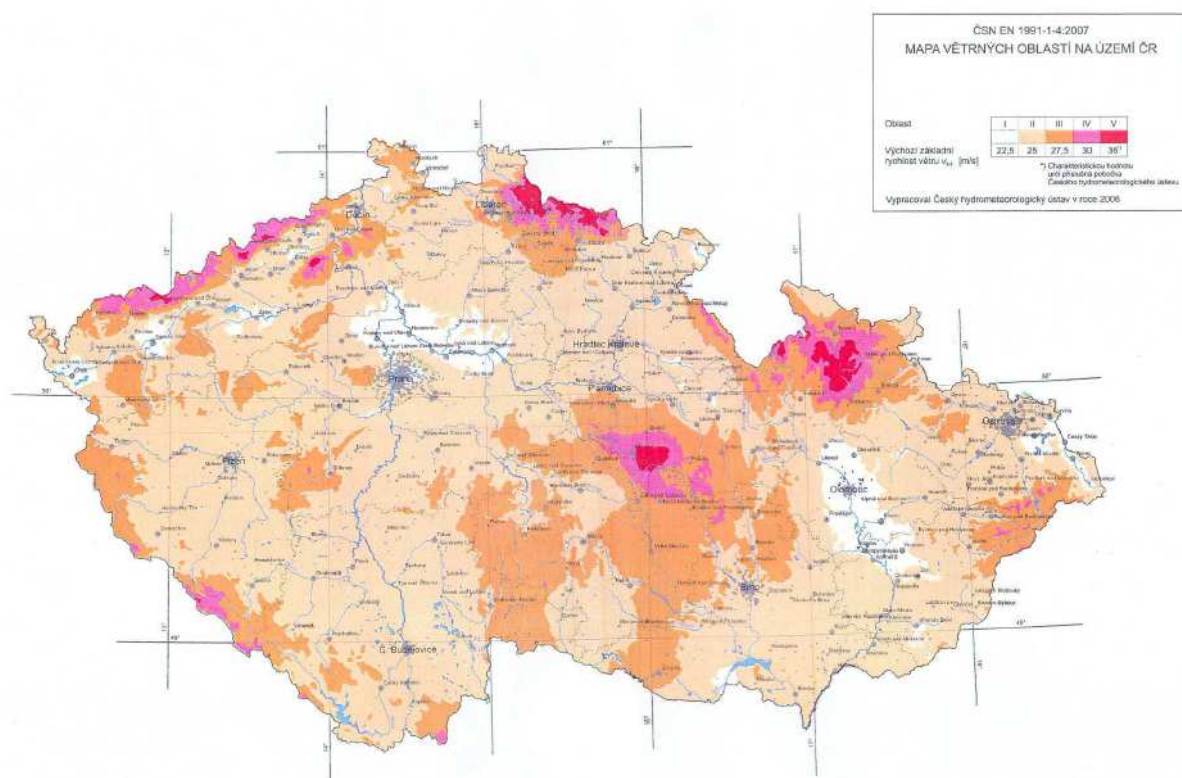
$$s_2 = 0,5 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 4.4 Návrhové situace zatížení sněhem

4.1.4. Zatížení větrem

Zatížení větrem se uvažuje jako proměnlivé zatížení s účinky v příčném a podélném směru. Charakteristickou hodnotou zatížení w větrem na jednotlivé oblasti střechy vyjadřují jednotlivé součinitele vnějšího a vnitřního tlaku větru c_{pe} a c_{pi} a charakteristický maximální dynamický tlak q_p (4.3), který je ovlivněn mnoha faktory jako např. polohou objektu, výškou nad terénem, drsností terénu a jinými faktory.



Obr. 4.5 Mapa větrných oblastí na území ČR [3]

Z hlediska polohy objektu se dá dle Eurokódu [3] zjistit charakteristická desetiminutová střední rychlost větru $v_{b,0}$, která říká, jaká rychlost větru odpovídá roční pravděpodobnosti překročení 0,02 neboli doba návratu za 50 let (Obr. 4.5).

Základní rychlost větru v_b závisí na charakteristické desetiminutové střední rychlosti větru $v_{b,0}$, která je pro oblast Ostrava rovna 25 m/s a na součiniteli směru větru c_{dir} a c_{season} , který se pro běžné případy rovná 1,0.

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 25,0 = 25,0 \text{ m/s}$$

Místní vlivy jako drsnost terénu a ortografie jsou vyjádřeny součiniteli drsnosti terénu c_r (závisí na kategorií terénu) a součiniteli ortografie $c_o(z)$, který vyjadřuje vliv kopců, útesů na střední rychlost větru v_m a pokud tvar terénu nemá žádný účinek na rychlost větru je roven 1,0. [9] Rodinný dům se nachází v kategorii terénu III. (Tab. 4.3).

Pokud je minimální výška z_{min} větší než výška objektu nad terénem z , musí se dále ve výpočtu počítat s minimální výškou z_{min} , neboli:

Pokud $z > z_{min} \rightarrow z = z_{min} = 5 \text{ m}$

$$c_r(z) = k_r \times \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \times \ln \frac{5}{0,3} = 0,606 \quad (4.2)$$

Součinitel terénu k_r závisí na parametru drsnosti terénu z_0 a $z_{0,II}$ (součinitel pro terén II. kategorie), viz tabulka Tab. 4.3.

$$k_r = 0,19 \times \ln \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \times \ln \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

Tab. 4.3 Kategorie terénu

Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{min} [m]
0 – moře a příměstské oblasti	0,003	1
I – jezera nebo vodorovná plochá krajina bez překážek	0,01	1
II – krajina s nízkou vegetací, jako je tráva nebo izolované překážky	0,05	2
III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami	0,3	5
IV – alespoň 15% povrchu je pokryto budovami, průměrná výška přesahuje 15 m	1	10

Střední rychlost větru v_m je ovlivněna místními vlivy a základní rychlostí větru, a proto se vychází ze vztahu:

$$v_m = c_r(z) c_0(z) v_b = 0,606 \times 1,0 \times 25,0 = 15,15 \text{ m/s}$$

Základní rovnice pro výpočet základního tlaku větru q_b nepočítá s vlivem turbulence větru, proto byla doplněna o část $[1 + 7I_v(z)]$ (4.3), která do výpočtu tento vliv zahrnuje.

$$q_b = \frac{1}{2} \rho_v v_b^2$$

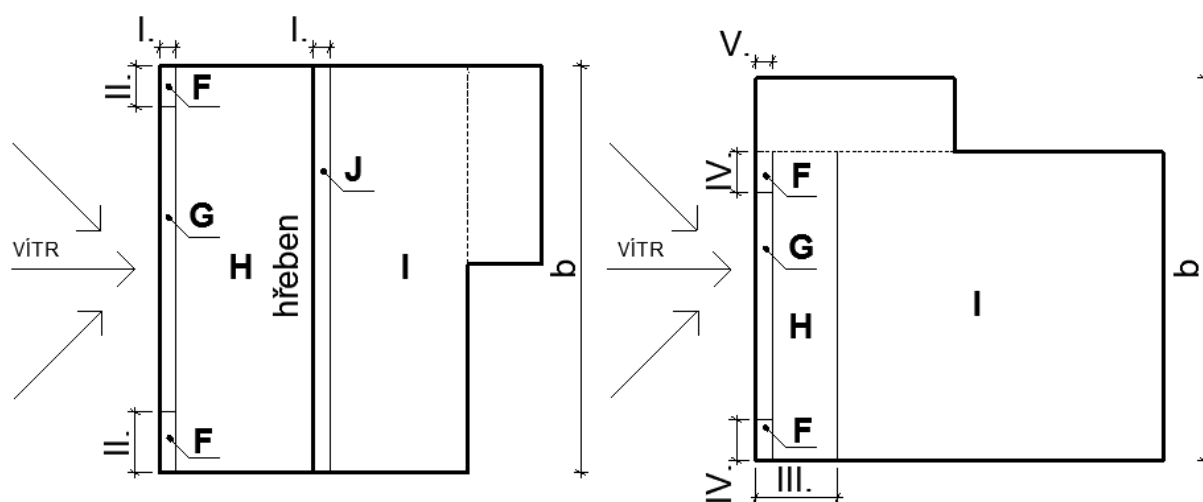
$$q_p = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho_v v_m^2 = [1 + 7 \times 0,355] \frac{1}{2} \times 1,25 \times 15,15^2 = 500,336 \text{ N/m}^2 \quad (4.3)$$

Intenzita turbulence $I_v(z)$ je dána vztahem (4.4), kde součinitel turbulence k_I je pro běžné případy roven 1,0 a platí stejná zásada jako u (4.2) neboli:

Pokud $z > z_{min} \rightarrow z = z_{min} = 5 \text{ m}$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z_{min}}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \ln \frac{5}{0,3}} = 0,355 \quad (4.4)$$

Plocha střechy je rozdělena na oblasti **F, G, H, I, J** (Obr. 4.6) zvlášť pro podélný a příčný vítr z důvodu rozdělení součinitelů vnitřních (c_{pe}) a vnějších (c_{pi}) tlaků pro sedlové střechy.



Obr. 4.6 Rozdělení plochy střechy na větrné oblasti
pro příčný vítr (vlevo) a podélný (vpravo) vítr

Velikost plochy závisí na výšce objektu h nebo na šířce kolmé na směr větru b .

Příčný vítr

$$e_1 = \min(b, 2h) = 9,340 \text{ m}$$

$$\text{I.} \quad e_1/10 = 0,934 \text{ m}$$

$$\text{II.} \quad e_1/4 = 2,335 \text{ m}$$

Podélný vítr

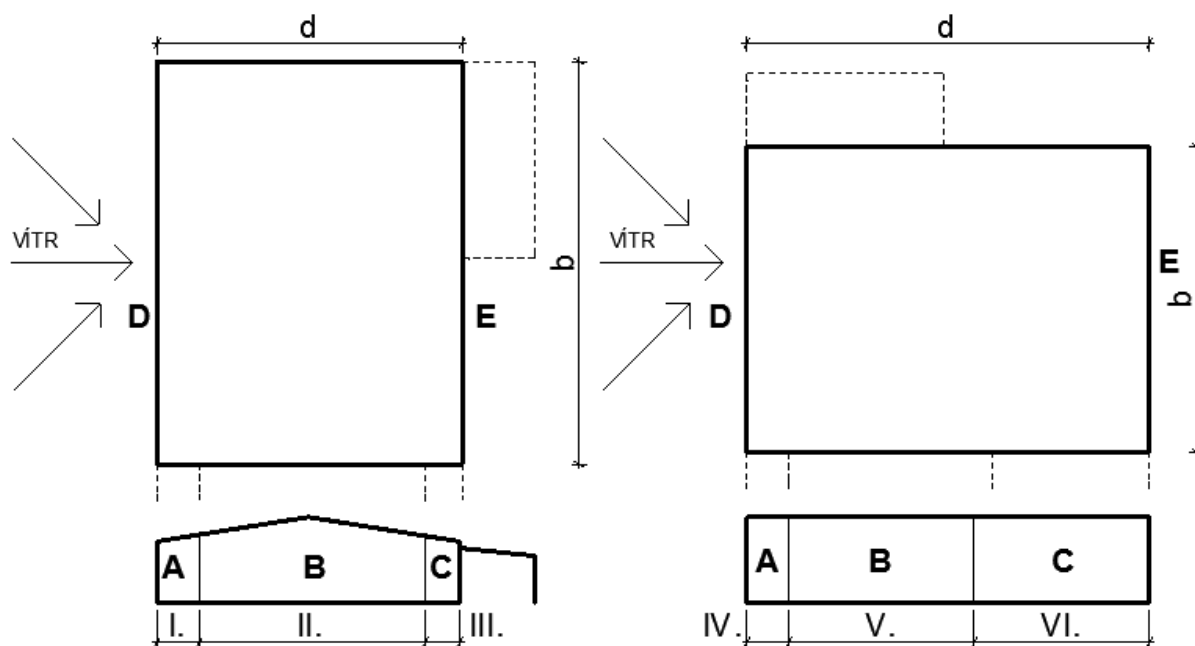
$$e_2 = \min(b, 2h) = 9,340 \text{ m}$$

$$\text{III.} \quad e_2/2 = 4,670 \text{ m}$$

$$\text{IV.} \quad e_2/4 = 2,335 \text{ m}$$

$$\text{V.} \quad e_2/10 = 0,934 \text{ m}$$

Stěny objektu se rozdělí na pět oblastí **A, B, C, D, E** (Obr. 4.7), kde oblast **D** je plocha, na kterou působí vítr a jeho šířka je rovna šířce stěny b (platí i pro oblast **E** na opačné straně objektu). Velikosti oblastí **A, B, C** jsou závislé na šířce stěny, na kterou působí vítr a výšce objektu.



Obr. 4.7 Rozdělení plochy stěny na větrné oblasti
pro příčný vítr (vlevo) a podélný (vpravo) vítr

Příčný vítr

$$e_1 = \min(b, 2h) = 9,340 \text{ m}$$

$$d_1 = 10,0 \text{ m}$$

$$\text{I. } e_1/5 = 1,868 \text{ m}$$

$$\text{II. } 4e_1/5 = 7,472 \text{ m}$$

$$\text{III. } d_1 - \text{I.} - \text{II.} = 0,660 \text{ m}$$

Podélný vítr

$$e_2 = \min(b, 2h) = 9,340 \text{ m}$$

$$d_2 = 15,0 \text{ m}$$

$$\text{IV. } e_2/5 = 1,868 \text{ m}$$

$$\text{V. } 4e_2/5 = 7,472 \text{ m}$$

$$\text{VI. } d_2 - \text{IV.} - \text{V.} = 5,660 \text{ m}$$

Součinitel vnitřního tlaku c_{pe} je závislý na tvaru střechy nebo velikosti plochy stěny na kterou působí vítr. Střešní konstrukce má sedlový tvar se sklonem 15° .

Střecha:

Příčný vítr

$$c_{pe,10}^F = -0,9$$

$$c_{pe,10}^G = -0,8$$

$$c_{pe,10}^H = -0,3$$

$$c_{pe,10}^I = -0,4$$

$$c_{pe,10}^J = -1,0$$

$$c_{pe,10}^{F+} = 0,2$$

$$c_{pe,10}^{G+} = 0,2$$

$$c_{pe,10}^{H+} = 0,2$$

$$c_{pe,10}^{I+} = 0,0$$

$$c_{pe,10}^{J+} = 0,0$$

Podélný vítr

$$c_{pe,10}^F = -1,3$$

$$c_{pe,10}^G = -1,3$$

$$c_{pe,10}^H = -0,6$$

$$c_{pe,10}^I = -0,5$$

Stěna:

Příčný vítr

$$\begin{aligned} c_{pe,10}^A &= -1,2 \\ c_{pe,10}^B &= -0,8 \\ c_{pe,10}^C &= -0,5 \\ c_{pe,10}^D &= 0,7 \\ c_{pe,10}^E &= -0,3 \end{aligned}$$

Podélný vítr

$$\begin{aligned} c_{pe,10}^A &= -1,2 \\ c_{pe,10}^B &= -0,8 \\ c_{pe,10}^C &= -0,5 \\ c_{pe,10}^D &= 0,7 \\ c_{pe,10}^E &= -0,31 \end{aligned}$$

Součinitel vnějších tlaků závisí na počtu otvorů a jejich rozmístění v konstrukci, ale v případě, kdy nelze jednoznačně určit hodnotu μ , která je závislá na ploše otvorů na závětrné straně ku ploše všech otvorů, pak lze uvažovat s nejvíce nepříznivou hodnotou:

$$c_{pi} = +0,2 \text{ (přetlak)}$$

$$c_{pi} = -0,3 \text{ (podtlak)}$$

Výsledný tlak větru na konstrukce střechy a stěny se spočítá vektorovým součtem vnějších a vnitřních tlaků na povrch jednotlivých oblastí.

$$w = w_e + w_i$$

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

$$w_i = q_p(z_i) \times c_{pi}$$

$$w = q_p \times (c_{pe} + c_{pi})$$

Střecha:

Příčný vítr

Pro součinitel vnějších tlaků:

$$c_{pi} = +0,2$$

$$c_{pi} = -0,3$$

$$w_{F-k}^{-} = 0,5 \times (-0,9-0,2) = -0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{F-k}^{-} = 0,5 \times (-0,9+0,3) = -0,30 \text{ kN/m}$$

$$w_{G-k}^{-} = 0,5 \times (-0,8-0,2) = -0,50 \text{ kN/m}$$

$$w_{G-k}^{-} = 0,5 \times (-0,8+0,3) = -0,25 \text{ kN/m}$$

$$w_{H-k}^{-} = 0,5 \times (-0,3-0,2) = -0,25 \text{ kN/m}$$

$$w_{H-k}^{-} = 0,5 \times (-0,3+0,3) = -0,00 \text{ kN/m}$$

$$w_{I-k}^{-} = 0,5 \times (-0,4-0,2) = -0,30 \text{ kN/m}$$

$$w_{I-k}^{-} = 0,5 \times (-0,4+0,3) = -0,05 \text{ kN/m}$$

$$w_{J-k}^{-} = 0,5 \times (-1,0-0,2) = -0,60 \text{ kN/m}$$

$$w_{J-k}^{-} = 0,5 \times (-1,0+0,3) = -0,35 \text{ kN/m}$$

$$w_{F+k}^{+} = 0,5 \times (0,2-0,2) = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$w_{F+k}^{+} = 0,5 \times (0,2+0,3) = 0,25 \text{ kN/m}$$

$$w_{G+k}^{+} = 0,5 \times (0,2-0,2) = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$w_{G+k}^{+} = 0,5 \times (0,2+0,3) = 0,25 \text{ kN/m}$$

$$w_{H+k}^{+} = 0,5 \times (0,2-0,2) = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$w_{H+k}^{+} = 0,5 \times (0,2+0,3) = 0,25 \text{ kN/m}$$

$$w_{I+k}^{+} = 0,5 \times (0,0-0,2) = -0,10 \text{ kN/m}$$

$$w_{I+k}^{+} = 0,5 \times (0,0+0,3) = 0,15 \text{ kN/m}$$

$$w_{J+k}^{+} = 0,5 \times (0,0-0,2) = -0,10 \text{ kN/m}$$

$$w_{J+k}^{+} = 0,5 \times (0,0+0,3) = 0,15 \text{ kN/m}$$

Podélný vítr

Pro součinitel vnějších tlaků:

$$c_{pi} = +0,2$$

$$c_{pi} = -0,3$$

$$w^{F-k} = 0,5 \times (-1,3-0,2) = -0,90 \text{ kN/m}$$

$$w^{F+k} = 0,5 \times (-1,3+0,3) = -0,65 \text{ kN/m}$$

$$w^{G-k} = 0,5 \times (-1,3-0,2) = -0,75 \text{ kN/m}$$

$$w^{G+k} = 0,5 \times (-1,3+0,3) = -0,50 \text{ kN/m}$$

$$w^{H-k} = 0,5 \times (-0,6-0,2) = -0,43 \text{ kN/m}$$

$$w^{H+k} = 0,5 \times (-0,6+0,3) = -0,18 \text{ kN/m}$$

$$w^{I-k} = 0,5 \times (-0,5-0,2) = -0,40 \text{ kN/m}$$

$$w^{I+k} = 0,5 \times (-0,5+0,3) = -0,15 \text{ kN/m}$$

Stěna:

Příčný vítr

Pro součinitel vnějších tlaků:

$$c_{pi} = +0,2$$

$$c_{pi} = -0,3$$

$$w^A_k = 0,5 \times (-1,2-0,2) = -0,70 \text{ kN/m}$$

$$w^A_k = 0,5 \times (-1,2+0,3) = -0,45 \text{ kN/m}$$

$$w^B_k = 0,5 \times (-0,8-0,2) = -0,50 \text{ kN/m}$$

$$w^B_k = 0,5 \times (-0,8+0,3) = -0,25 \text{ kN/m}$$

$$w^C_k = 0,5 \times (-0,5-0,2) = -0,35 \text{ kN/m}$$

$$w^C_k = 0,5 \times (-0,5+0,3) = -0,10 \text{ kN/m}$$

$$w^D_k = 0,5 \times (0,7-0,2) = 0,25 \text{ kN/m}$$

$$w^D_k = 0,5 \times (0,7+0,3) = 0,50 \text{ kN/m}$$

$$w^E_k = 0,5 \times (-0,3-0,2) = -0,25 \text{ kN/m}$$

$$w^E_k = 0,5 \times (-0,3+0,3) = 0,00 \text{ kN/m}$$

Podélný vítr

Pro součinitel vnějších tlaků:

$$c_{pi} = +0,2$$

$$c_{pi} = -0,3$$

$$w^A_k = 0,5 \times (-1,2-0,2) = -0,70 \text{ kN/m}$$

$$w^A_k = 0,5 \times (-1,2+0,3) = -0,45 \text{ kN/m}$$

$$w^B_k = 0,5 \times (-0,8-0,2) = -0,50 \text{ kN/m}$$

$$w^B_k = 0,5 \times (-0,8+0,3) = -0,25 \text{ kN/m}$$

$$w^C_k = 0,5 \times (-0,5-0,2) = -0,35 \text{ kN/m}$$

$$w^C_k = 0,5 \times (-0,5+0,3) = -0,10 \text{ kN/m}$$

$$w^D_k = 0,5 \times (0,7-0,2) = 0,25 \text{ kN/m}$$

$$w^D_k = 0,5 \times (0,7+0,3) = 0,50 \text{ kN/m}$$

$$w^E_k = 0,5 \times (-0,31-0,2) = -0,255 \text{ kN/m}$$

$$w^E_k = 0,5 \times (-0,31+0,3) = -0,005 \text{ kN/m}$$

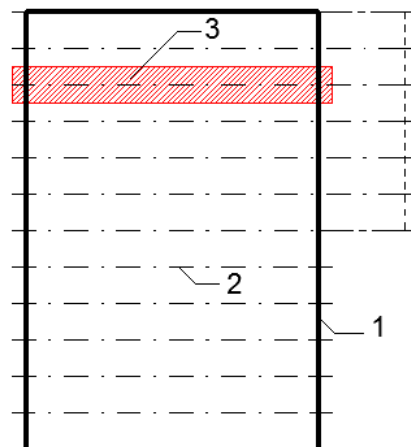
4.2. Výpočet vnitřních sil

Hrubá nosná konstrukce byla vytvořena v programu AutoCAD 2016 a převedena do programu SCIA Engineer. V programu byla pak doplněna o vypočtené zatížení na konstrukci, podpory a jednotlivé moduly posunutí styčnicků vypočtených na základě technického listu firmy BOVA (dle vzorců (4.5)). Následně byla provedena statická analýza konstrukce. Výsledkem byly vnitřní síly, podle kterých je provedeno posouzení nosných prvků konstrukce na MSÚ a MSP.

$$K_{u,mean} = \frac{2}{3} K_{ser} \quad K = \frac{K_{u,mean}}{\gamma_M} \quad (4.5)$$

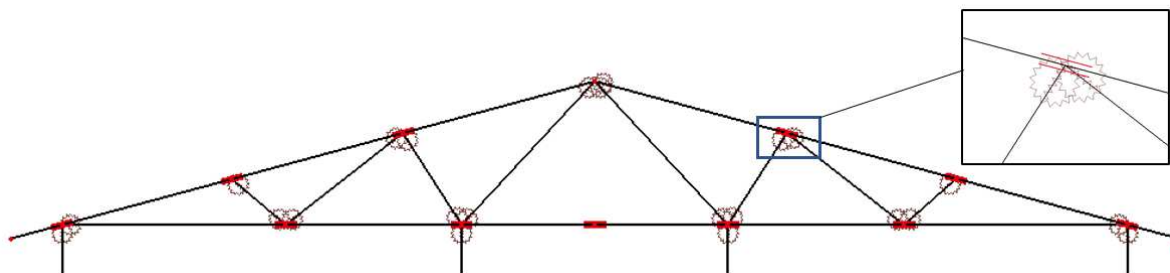
Výpočet a návrh jednotlivých nosných prvků konstrukce je konstruován od shora dolů, tzn. že vypočtené zatížení působí na vazník, který přenáší svislé zatížení do vaznice a vodorovné zatížení do svislých ztužidel, které dále pokračuje do sloupů a následně do základů.

Model č. 1 (Obr. 4.9) je navržen pro výpočet vnitřních sil na nejzatíženějším vazníku. Jako nejzatíženější se uvažuje třetí vazník od štítové stěny (Obr. 4.8). Jednotlivé zatěžovací stavy, které působí na vazník jsou uvedené a znázorněné v příloze A. Model č. 1 také slouží k navrhnutí spojů vazníku, které tvoří styčnickové desky s prolisovanými trny (viz kapitola 4.8).



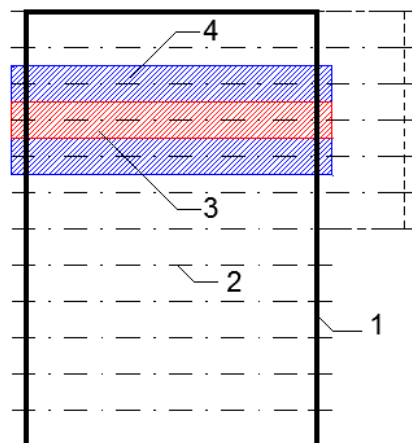
Obr. 4.8 Zatěžovací šířka modelu č. 1

(1 - obvodová stěna, 2 - osa vazníku, 3 - zatěžovací šířka)



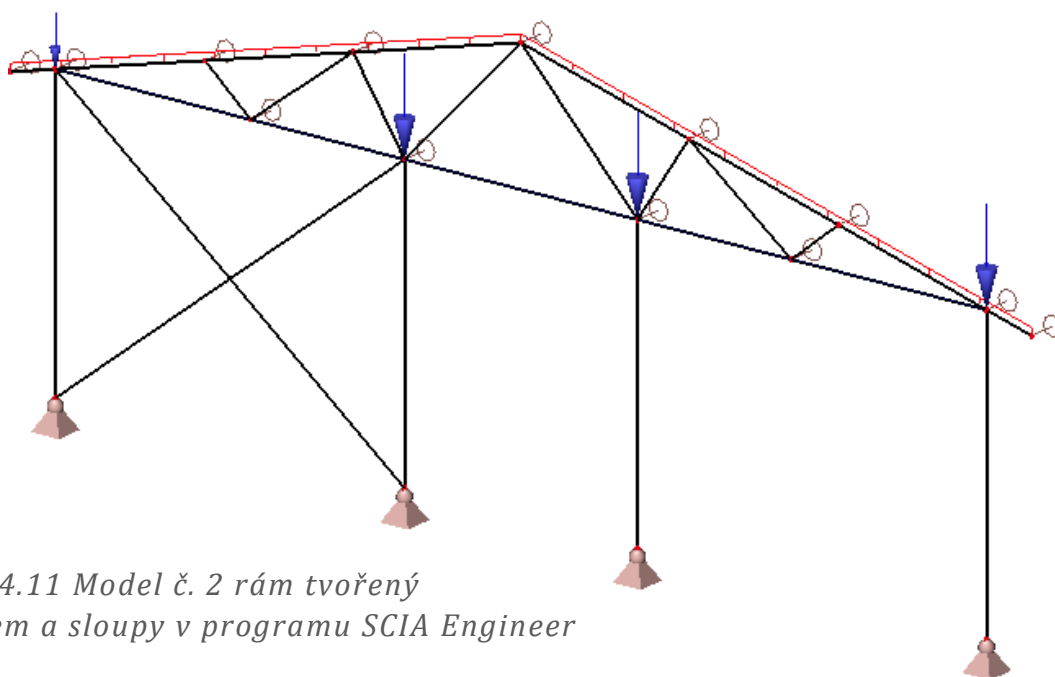
Obr. 4.9 Model č. 1 příhradový vazník v programu SCIA Engineer

Model č. 2 (Obr. 4.11) tvoří vazník umístěn na sloupy v druhé řadě modulové sítě (Obr. 4.10). Model slouží k výpočtu vnitřních sil na sloupy, výztužných prvků a taky pro návrh spoje vazníku s vaznicí a vaznice se sloupem. Zatížení na vazník je obdobné jako zatížení na modelu č. 1, ovšem s jiným zatížením od větru (červené pole na obrázku Obr. 4.10). Modré pole znázorňuje zatížení na dvou vaznicích, které své zatížení přenáší do sloupu pomocí vaznice. Do modelu se toto zatížení přeneslo přes bodové síly na sloupy (Obr. 4.11).



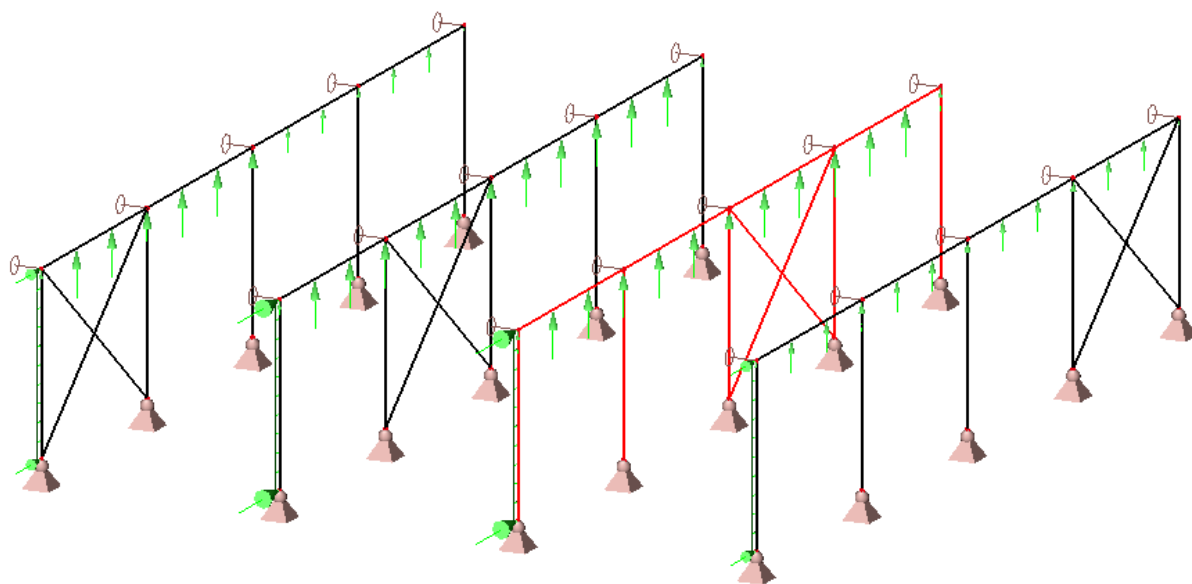
Obr. 4.10 Zatěžovací šířka modelu č. 2

(1 - obvodová stěna, 2 - osa vazníku, 3 - zatěžovací šířka vazníku na sloupech, 4 - zatěžovací šířka přilehlých vazníků na vaznici)



Obr. 4.11 Model č. 2 rám tvořený vazníkem a sloupy v programu SCIA Engineer

Model č. 3 slouží pro výpočet vnitřních sil na vaznici. Zatížení, které přenáší vazník do vaznice bylo namodelováno pomocí bodových sil v místech spojení vazníků s vaznicí. Největší vnitřní síly vykazovala vaznice označená červeně (Obr. 4.12).

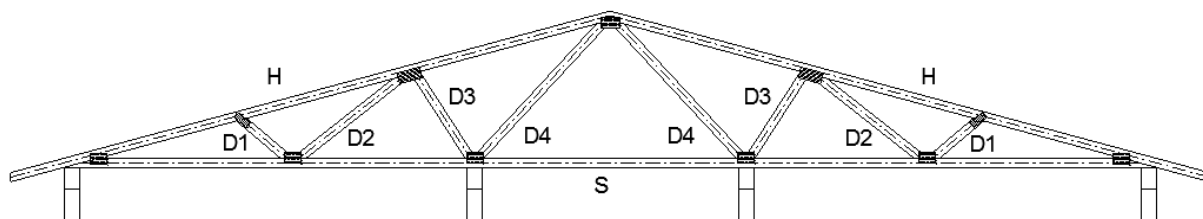


Obr. 4.12 Model č. 3 rám tvořený sloupy a vaznicemi v programu SCIA Engineer

Vodorovné zatížení větrem působící na sloupy, bylo modelováno jako spojitě zatížení na efektivní šířku 625 mm. Zbylé zatížení, které působí na mezisloupky bylo do konstrukce vnášeno jako bodové zatížení v hlavě a v patě sloupu (Obr. 4.12).

4.3. Vazník

Střešní konstrukce je navržena jako dřevěný příhradový vazník tvořený horním a dolním pásem, který je vyplněn osmi diagonálami (Obr. 4.13). Vnitřní síly vychází z modelu č. 1 (Obr. 4.9). Diagonály jsou k hornímu a dolnímu pásu připojeny pomocí styčnickových desek s prolisovanými trny (viz podkapitola 4.8.1). Vazník je uložen na vaznicích a spojen pomocí spojovacích úhelníků (viz podkapitola 4.8.2).



Obr. 4.13 Schéma příhradového vazníku z programu ArchiCAD 19

Prvky vazníku jsou navrženy průřezu 50×100 mm (šířka × výška) z rostlého dřeva C24. Jednotlivé části vazníku jsou posuzovány na tlak a tah rovnoběžně k vláknům.

Posudek vazníku na tah

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{14}{1,3} = 8,62 \text{ MPa}$$

$$A = 50 \times 100 = 5000 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,RD} = f_{t,0,d} \times A = 8,62 \times 10^{-3} \times 5000 = 43,10 \text{ kN}$$

Následné posouzení bylo zapsáno do tabulky (Tab. 4.4).

Tab. 4.4 Posouzení prvků vazníku na tah

Prvek	Síla N_{Ed} [kN]	$N_{Ed} / N_{t,RD}$	Posouzení	Rezerva [%]
H	7,09	0,16	Vyhovuje	83,54
S	6,02	0,14	Vyhovuje	86,03
D1	0,16	0,00	Vyhovuje	99,63
D2	5,16	0,12	Vyhovuje	88,02
D3	0,11	0,00	Vyhovuje	99,74
D4	0,00	0,00	Vyhovuje	100,00

Pozn. Označení prvků dle Obr. 4.13 a velikost vnitřních sil dle přílohy B

Posudek vazníku na tlak

$$k_{mod} = 0,8$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

$$A = 50 \times 100 = 5000 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 50 \times 100^3 = 4,17 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 50^3 = 1,04 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,17 \times 10^6}{5000}} = 28,87 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,04 \times 10^6}{5000}} = 14,43 \text{ mm}$$

$$\beta_c = 0,2$$

Jelikož je poloměr setrvačnosti i_y větší než i_z , bude se dále počítat s i_z , ale musí platit, že $L_{cr,y}$ je roven $L_{cr,z}$ a to je v tomto případě splněno.

Posudky v tabulce (Tab. 4.5) vycházely z těchto vzorců:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \quad (4.6)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (4.7)$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] \quad (4.8)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (4.9)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} \quad (4.10)$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{21}{1,3} = 12,92 \text{ MPa}$$

$$\text{Posouzení} \rightarrow \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (4.11)$$

Horní a spodní pás je zajištěn proti vybočení z osy, proto lze uvažovat s $k_{c,z} = 1,0$.

Tab. 4.5 Posouzení prvků vazníku na tlak

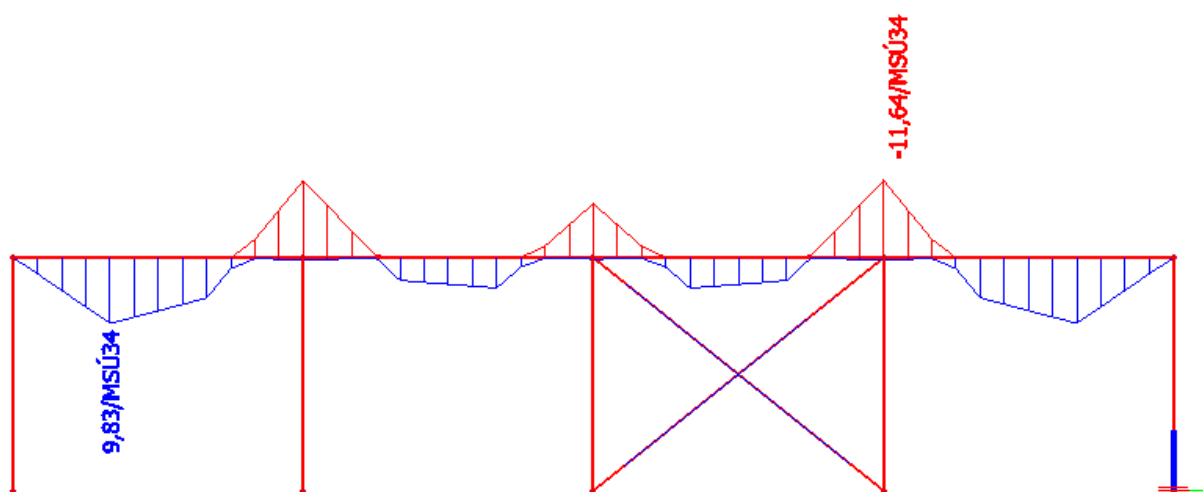
Prvek	Síly N_{Ed} [kN]	L_{CR} [mm]	λ_z	$\lambda_{rel,z}$	k_z
Rovnice \rightarrow			(4.6)	(4.7)	(4.8)
H	-7,77	5676	-	-	-
S	-2,91	5000	-	-	-
D1	-4,93	653	45,24	0,77	0,84
D2	-0,01	1395	96,65	1,64	1,98
D3	-7,76	1019	70,60	1,20	1,31
D4	-5,71	1832	126,92	2,15	3,00

Pozn. Označení prvků dle Obr. 4.13 a velikost vnitřních sil dle přílohy B

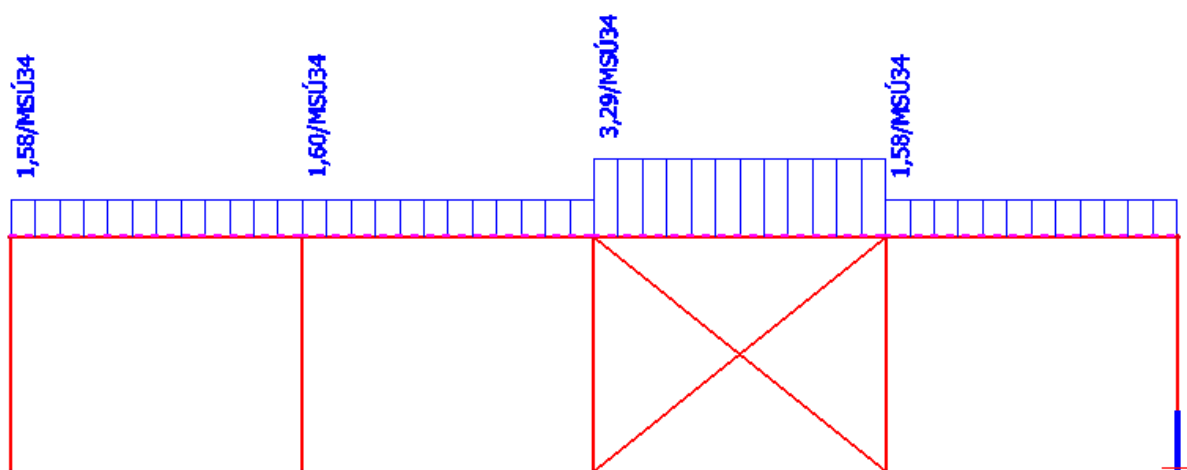
Prvek	$k_{c,z}$	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{c,0,d} / k_{c,z} \times f_{c,0,d}$	Posouzení	Rezerva[%]
Rovnice \rightarrow	(4.9)	(4.10)	(4.11)		
H	1,00	-1,55	0,12	Vyhovuje	87,98
S	1,00	-0,58	0,05	Vyhovuje	95,50
D1	0,84	-0,99	0,09	Vyhovuje	90,95
D2	0,32	0,00	0,00	Vyhovuje	99,95
D3	0,55	-1,55	0,22	Vyhovuje	78,03
D4	0,20	-1,14	0,45	Vyhovuje	54,99

4.4. Vaznice

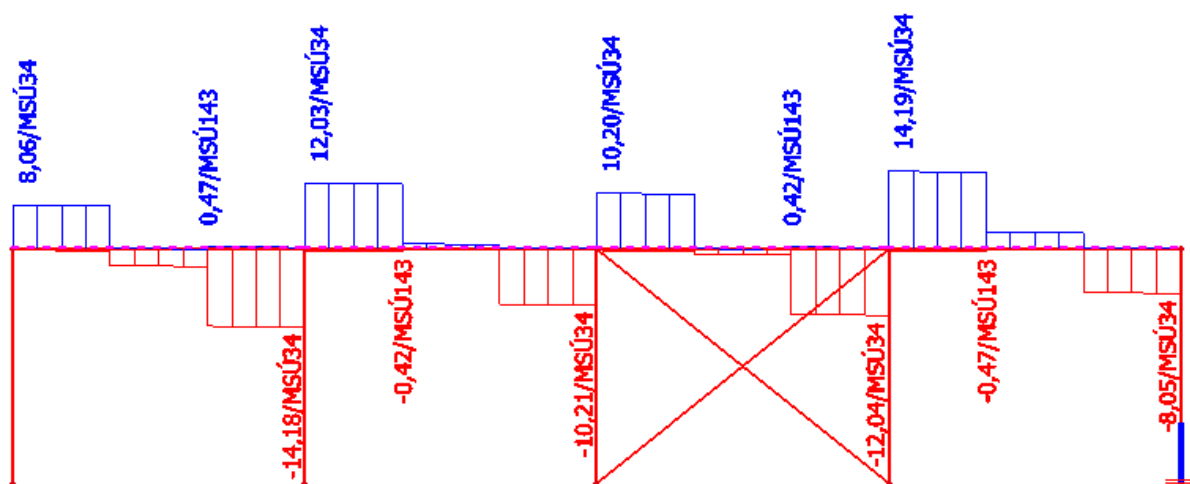
Pro výpočet vnitřních sil byl použitý model č. 2 (Obr. 4.12). Vaznice je posouzena na největší namáhání, které je způsobené největším ohybovým momentem nad podporou (Obr. 4.14), smykem (Obr. 4.16), ohybovým momentem (Obr. 4.14) a příslušnou normálovou silou (Obr. 4.15) v poli. Nad podporou se počítá s oslabeným průřezem vaznice z důvodu vložené desky (viz kapitola 4.7). Únosnost vaznice v ohybu a vzpěrného tlaku nebyla posuzována z důvodu malého tlaku v místě maximálního ohybového momentu, a naopak v místě maximálního tlaku (přibližně -3,54 kN) se nachází poloviční ohybový moment ve srovnání s M_{max}^+ .



Obr. 4.14 Ohybové momenty na vaznici



Obr. 4.15 Příslušné normálové síly na vaznici



Obr. 4.16 Posouvající síly na vazníku

Největší vnitřní síly vznikají z kombinace C34.

V kombinaci je obsaženo zatížení (hodnoty v závorce jsou součinitele zatížení γ):

Vlastní tíha (1,35), sníh₃ (1,5) a vítr₆ (0,9) (viz příloha A).

Vnitřní síly, na které bude vaznice posuzována:

$$M_{max}^{-} = -11,64 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{+} = 9,83 \text{ kNm}$$

$$N_{přisl} = 1,58 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 14,19 \text{ kN}$$

$$R_{max} = 37,05 \text{ kN} \text{ (maximální reakce ve spoji vaznice – sloup)}$$

Materiálové charakteristiky

Dřevo C24 (rostlé dřevo), třída provozu 1, zatížení střednědobé

$$k_{mod} = 0,8$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$k_{def} = 0,6$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa} \rightarrow f_{m,d} = 14,77 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa} \rightarrow f_{t,0,d} = 8,62 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ MPa} \rightarrow f_{v,d} = 2,46 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,90,d} = 1,54 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

Posuzovaná vaznice má průřez 140×200 mm (šířka \times výška). V místě oslabení se průřez oslabuje o tloušťku vložené desky.

$$A = b \times h = 140 \times 200 = 28000 \text{ mm}^2$$

$$A_{osl} = (b - t_d) \times h = (140 - 4) \times 200 = 27200 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,osl} = k_{cr} \times A_{osl} = 0,67 \times 27200 = 18224 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} \times 140 \times 200^2 = 93,33 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,osl} = \frac{1}{6} (b - t_d) h^2 = \frac{1}{6} \times (140 - 4) \times 200^2 = 90,67 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Posouzení v ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{max}^-}{W_{y,osl}} = \frac{|-11,64 \times 10^3|}{90,67 \times 10^4} = 12,84 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 14,77 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení ve smyku

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \frac{V_{max}}{A_{ef,osl}} = \frac{3}{2} \frac{14,19 \times 10^3}{18224} = 1,17 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 2,46 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení v ohybu a osového tahu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{max}^+}{W_y} = \frac{9,83 \times 10^3}{93,33 \times 10^4} = 10,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{přísl}}{A} = \frac{1,58 \times 10^3}{28000} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,06}{8,62} + \frac{10,84}{14,77} = 0,76 \leq 1$$

Vyhovuje

Posouzení v otlačení v podpoře

$$k_{c,90} = 1,0 \text{ (lze brát konzervativně roven 1,0)}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{max}}{A_{osl}} = \frac{37,05 \times 10^3}{27200} = 1,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 1,36 \text{ MPa} \leq k_{c,90} \times f_{c,90,d} = 1,0 \times 1,54 = 1,54 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Průhyb

Hodnoty průhybů jsou vypočteny v programu SCIA Engineer.

a) okamžitý průhyb

$$w_{inst} = 8,7 \text{ mm} \leq \frac{L}{300} = \frac{3750}{300} = 12,5 \text{ mm}$$

b) konečný průhyb od stálého zatížení

$$w_{inst,G} = 3,4 \text{ mm}$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \times (1 + k_{def}) = 3,4 \times (1 + 0,6) = 5,44 \text{ mm}$$

c) konečný průhyb od hlavního zatížení (sníh)

$$\Psi_{2,1} = 0$$

$$w_{inst,Q,1} = 3,9 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1} \times (1 + \Psi_{2,1} k_{def}) = 3,9 \times (1 + 0 \times 0,6) = 3,9 \text{ mm}$$

d) konečný průhyb od ostatního zatížení (vítr)

$$\Psi_{0,2} = 0,6$$

$$\Psi_{2,2} = 0$$

$$w_{inst,Q,2} = 1,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q,2} = w_{inst,Q,2} \times (\Psi_{0,2} + \Psi_{2,1} k_{def}) = 1,6 \times (0,6 + 0 \times 0,6) = 0,96 \text{ mm}$$

e) celkový konečný průhyb (bez nadvýšení)

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q,1} + w_{fin,Q,2} = 5,44 + 3,9 + 0,96 = 10,3 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = 15 \text{ mm}$$

Vyhovuje

4.5. Stabilita konstrukce

Zajištění stability konstrukce je nejdůležitějším úkolem pro návrh skeletových konstrukcí. Vodorovná síla působící na vazník č. 3 se pomocí vodorovného střešního bednění na horním pásu vazníku a pomocí roštu uchyceného na spodním pásu vazníku opře o vyztužené pole (Obr. 4.17) tvořené vazníky č. 1,2 a vloženými vodorovnými ztužidly horního a dolního pásu. Tím je zajištěna prostorová stabilita střešní konstrukce. Stěnová stabilita pro přenos vodorovných sil je zajištěna pomocí strategicky umístěných stěnových ztužidel tvořených dřevěnými diagonály mezi sloupy do tvaru X. Ty zajišťují přenos vodorovných sil do základů a přes základy do podloží.

- Střešní bednění

Střešní bednění je tvořeno z dřevěných prken tloušťky 27 mm, které musí být osazeny na těsný sraz. Ke střešnímu vazníku jsou uchyceny pomocí hřebíků průměru 3 mm a délky 60 mm. Výhodou je nejen velká pevnost ve všech směrech, ale taky uhlazený povrch pro následné položení hydroizolace a nízká cena. Prkna musí být opatřena ochranou proti škůdcům.

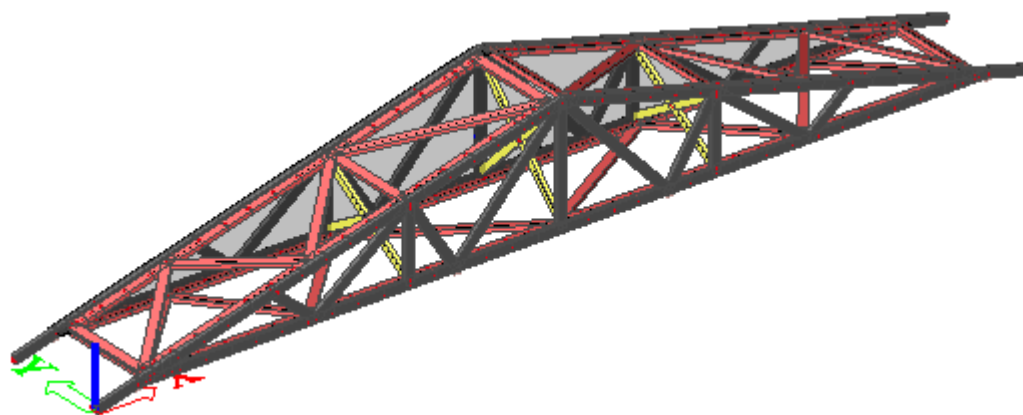
- Ondřejovy kříže

Ondřejovy kříže jsou namodelovány jako zkřížená prkna rozměrů 32×100 mm. Model byl vytvořen v programu AutoCad 2016 a převeden do programu SCIA Engineer. Model je zatížen pouze vodorovnými silami od větru a zatížením vyvolaným tlačnými pruty ostatních vazníků. Tyto prkna se k vazníkům přibíjí pomocí dvou hřebíků průměrů 3,55 mm a délky 90 mm. Vodorovná dřevěná prkna u horního a dolního pásu mají průřez 80×50 mm.

Toto vyztužené pole (Obr. 4.17) se v konstrukci krovu objevuje třikrát (začátek, konec a uprostřed) (Obr. 3.1).

Zatížení vyvolané tlačným prutem se projeví na konstrukci náhradním zatížením q_d . Velikost maximální tlačené síly horního pásu je $N_d = -7,77 \text{ kN}$, při délce pásu $l = 5,68 \text{ m}$. Součinitel vzpěru k_c , vychází ze vzorce (4.12). Je nutné výslednou hodnotu následně vynásobit počtem vazníků, který na tento vyztužený prvek působí.

$$q_d = \frac{N_d(1 - k_c)}{30l} = \frac{-7,77 \times (1 - 0,47)}{30 \times 5,68} = 0,024 \text{ kN/m}$$



Obr. 4.17 Vyztužené pole vytvořené v programu SCIA Engineer

Výsledkem jsou vnitřní síly

$$N_{max}^- = -1,46 \text{ kN}$$

$$N_{max}^+ = 0,38 \text{ kN}$$

$$k_{mod} = 0,8$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

$$A = 32 \times 100 = 3200 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 32 \times 100^3 = 2,67 \times 10^6 \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 32^3 = 2,73 \times 10^5 \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,67 \times 10^6}{3200}} = 28,87 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,73 \times 10^5}{3200}} = 9,24 \text{ mm}$$

Poloměr setrvačnosti i_y je větší než i_z , proto se dále počítat s i_z , ale musí platit, že

$L_{cr,y}$ je roven $L_{cr,z}$ a to je v tomto případě splněno.

$$\beta_c = 0,2$$

$$L_{cr,z} = 1760 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1760}{9,24} = 190,53$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{190,53}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 3,23$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (3,23 - 0,3) + 3,23^2] = 6,01$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{6,01 + \sqrt{6,01^2 - 3,23^2}} = 0,47 \quad (4.12)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{max}^-}{A} = \frac{1,46 \times 10^3}{3200} = 0,46 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = \frac{0,46}{0,47 \times 12,92} = 0,08 \leq 1$$

Vyhovuje

- Dřevěné diagonály

Dřevěné diagonály jsou navrženy ze dřeva C24 rozměrů 100×100 mm. V místě křížení diagonál (Obr. 4.18) jsou prvky oslabený na polovinu své šířky a navzájem spojeny svorníkem.

Vnitřní síly

$$N_{max}^+ = 3,82 \text{ kN}$$

$$N_{max}^- = 3,94 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky

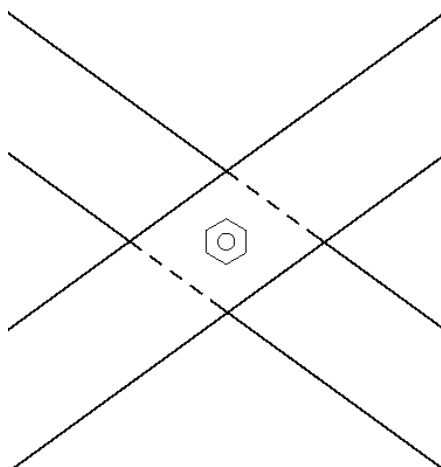
$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{mod} = 0,8$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa} \rightarrow f_{t,0,d} = 8,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,0,d} = 12,92 \text{ MPa}$$

$$\beta_c = 0,2$$



Obr. 4.18 Křížení diagonál

Průřezové charakteristiky

$$A = b \times h = 100 \times 100 = 10000 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 100^3 = 83,33 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{83,33 \times 10^5}{10000}} = 28,87 \text{ mm}$$

Posouzení diagonály na osový tah

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{max}^+}{A} = \frac{3,82 \times 10^3}{10000} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{0,36}{8,62} = 0,04 \leq 1$$

Vyhovuje

Posouzení diagonály na vzpěrný tlak

$$L_{cr,y} = 4800 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4800}{28,87} = 166,28$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{166,28}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,82$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (2,82 - 0,3) + 2,82^2] = 4,73$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{4,73 + \sqrt{4,73^2 - 2,82^2}} = 0,12$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{max}^-}{A} = \frac{3,94 \times 10^3}{10000} = 0,43 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} = \frac{0,43}{0,12 \times 12,92} = 0,28 \leq 1$$

Vyhovuje

4.6. Sloup – vnitřní

Sloup je zatížen pouze normálovou silou $N_{max} = -37,48 \text{ kN}$. Kombinace 34 (viz kapitola 4.4) (Obr. 4.19).

Materiálové charakteristiky

Dřevo C24 (rostlé dřevo), třída provozu 1, zatížení střednědobé

$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{mod} = 0,8$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,0,d} = 12,92 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

Sloup průřezu $140 \times 160 \text{ mm}$.

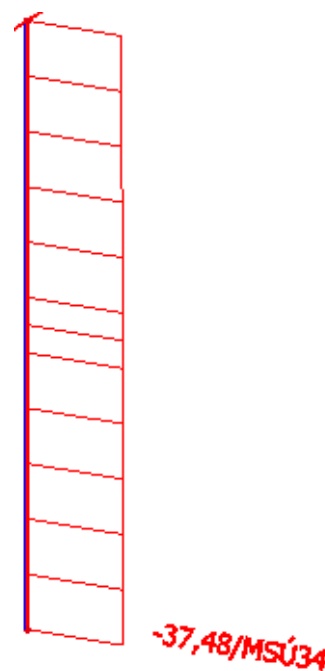
$$A = b \times h = 140 \times 160 = 22400 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 140 \times 160^3 = 47,79 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} \times 160 \times 140^3 = 36,59 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{47,79 \times 10^6}{22400}} = 46,19 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{36,59 \times 10^6}{22400}} = 40,42 \text{ mm}$$



Obr. 4.19 Normálová síla sloupu

Jelikož je poloměr setrvačnosti i_y větší než i_z , bude se dále počítat s i_z , ale musí platit, že

$L_{cr,y}$ je roven $L_{cr,z}$ a to je v tomto případě splněno.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2800 \text{ mm}$$

$$\beta_c = 0,2$$

Posouzení na vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,d} = \frac{N_{max}}{A} = \frac{37,48 \times 10^3}{22400} = 1,67 \text{ MPa}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2800}{40,42} = 69,28$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,28}{3,14} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,18$$

$$k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5[1 + 0,2(1,18 - 0,3) + 1,18^2] = 1,28$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,28 + \sqrt{1,28^2 - 1,18^2}} = 0,47$$

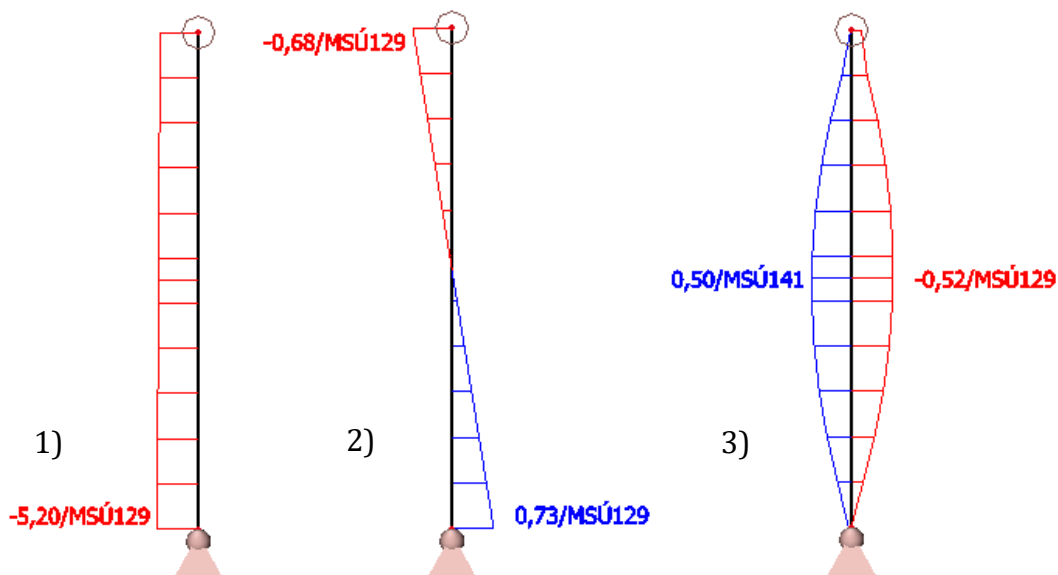
Posouzení

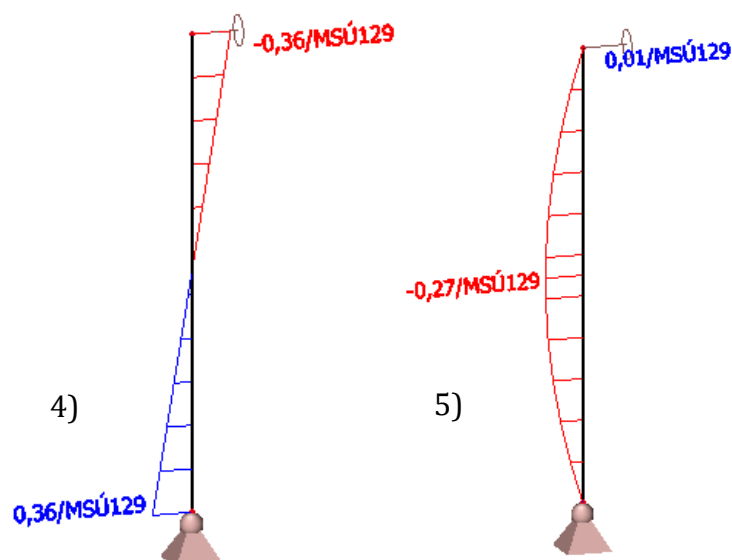
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{1,67}{0,47 \times 12,92} = 0,28 \leq 1$$

Vyhovuje

4.7. Sloup - rohový

Z důvodu absence 2D modelu u štítové stěny se zatíží krajní sloupy v modelu č. 2 (Obr. 4.11) větrem v obou směrech. Pokud sloup vyhoví na účinek zatížení s větší efektivní šířkou, nemusí se modelovat nový rám s rozlišným zatížením.





Obr. 4.20 Vnitřní síly rohového sloupu
(1 - $N_{přísl}$, 2 - V_y , 3 - $M_{y,max}$, 4 - V_z , 5 - $M_{z,přísl}$)

Největší vnitřní síly vznikají z kombinace C129 (Obr. 4.20).

V kombinaci je obsaženo zatížení (hodnoty v závorce jsou součinitele zatížení γ):
Vlastní tíha (1,35), sníh₃ (0,75) a vítr₆ (1,5) (viz příloha A).

Vnitřní síly, na které bude rohový sloup posuzovaný:

$$M_{y,max} = -0,52 \text{ kNm}$$

$$M_{z,přísl} = -0,27 \text{ kNm}$$

$$N_{přísl} = -5,2 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 0,73 \text{ kN}$$

$M_{z,max}$ nebyla posuzovaná, neboť dosahovala podobné hodnoty jako $M_{y,max}$.

Materiálové charakteristiky

Dřevo C24 (rostlé dřevo), třída provozu 1, zatížení střednědobé

$$k_{mod} = 0,8$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$k_m = 0,7$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa} \rightarrow f_{m,d} = 14,77 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ MPa} \rightarrow f_{v,d} = 2,46 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,0,d} = 12,92 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

Sloup průřezu $140 \times 160 \text{ mm}$.

$$A = b \times h = 140 \times 160 = 22400 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef} = k_{cr} \times b \times h = 0,67 \times 140 \times 160 = 15008 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} \times 140 \times 160^2 = 59,73 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} \times 160 \times 140^2 = 52,27 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 140 \times 160^3 = 47,79 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} \times 160 \times 140^3 = 36,59 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{47,79 \times 10^6}{22400}} = 46,19 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{36,59 \times 10^6}{22400}} = 40,42 \text{ mm}$$

Jelikož je poloměr setrvačnosti i_y větší než i_z , bude se dále počítat s i_z , ale musí platit, že

$L_{cr,y}$ je roven $L_{cr,z}$ a to je v tomto případě splněno.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2800 \text{ mm}$$

$$\beta_c = 0,2$$

Posouzení na smyk

$$\tau_{vd} = \frac{3 V_{max}}{2 A_{ef}} = \frac{3}{2} \times \frac{0,73 \times 10^3}{15008} = 0,073 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 2,46 \text{ MPa}$$

Posouzení na dvouosý ohyb a vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{přisl}}{A} = \frac{5,2 \times 10^3}{22400} = 0,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{max}}{W_y} = \frac{0,52 \times 10^6}{59,73 \times 10^4} = 0,871 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{přisl}}{W_z} = \frac{0,27 \times 10^6}{52,27 \times 10^4} = 0,517 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \times f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,11}{0,54 \times 12,92} + 0,7 \frac{0,871}{14,77} + \frac{0,517}{14,77} = 0,09 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,11}{0,54 \times 12,92} + \frac{0,871}{14,77} + 0,7 \frac{0,517}{14,77} = 0,10 \leq 1$$

Vyhovuje

4.8. Spoje

4.8.1. Styčnickové desky s prolisovanými trny

Vazník bude spojen pomocí styčnickových desek s prolisovanými trny (Obr. 4.21). Spojů na vazníků je 11, ale v této podkapitole bude posouzen pouze jeden zvolený spoj. Posouzení zbylých spojů je přiloženo v příloze D. Výsledné plochy styčnickové desky jsou zapsány do tabulky (Tab. 4.6).

Konstrukční zásady

Styčnickové desky musí pás překrývat nejméně 30 mm nebo šestinu jeho výšky od okraje pásu k těžišti plochy připojení A_{ef} .

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_{M1} = 1,3 \text{ (pro dřevo)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (pro desku)}$$

$$t_d = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\gamma = 15^\circ$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

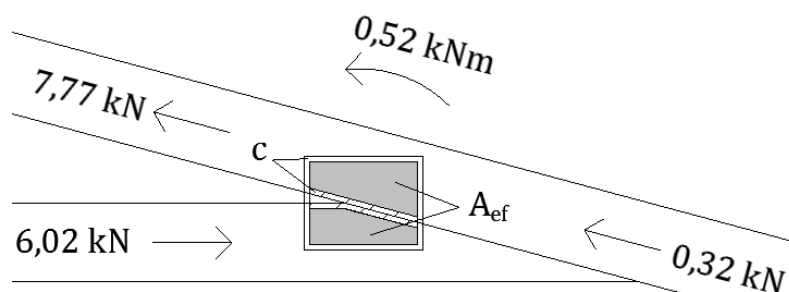
$$h = 120 \text{ mm}$$

$$c = 5 + 6t_p \sin(\alpha) = 5 + 6 \times 1,5 \times \sin(15) = 7,33 \text{ mm}$$

$$l_s = \frac{b}{\cos(\alpha)} = \frac{150}{\cos(15)} = 155,3 \text{ mm}$$

$$A_{ef,1} = 8850 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,2} = 8850 \text{ mm}^2$$



Obr. 4.21 Efektivní plocha desky spoje 1

Vnitřní síly, které budou působit na styčnickovou desku jsou převzaty z programu SCIA Engineer:

$$N_{Ed,1} = -7,77 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,2} = 0,32 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$N_{Ed,3} = 6,02 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$M_d = 0,52 \text{ kNm}$$

Charakteristická pevnost desky a její další vlastnosti jsou převzaty z technického listu firmy BOVA pro styčnickovou desku BV15 (viz příloha C).

$$f_{a,0,0,k} = 4,02 \text{ N/mm}^2 \rightarrow f_{a,0,0,d} = k_{mod} \frac{f_{a,0,0,k}}{\gamma_{M1}} = 2,47 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{a,90,90,k} = 1,44 \text{ N/mm}^2 \rightarrow f_{a,90,90,d} = k_{mod} \frac{f_{a,90,90,k}}{\gamma_{M1}} = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = -0,0152$$

$$k_2 = -0,0152$$

$$f_{t,0,k} = 300,10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{M2}} = 240,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{t,90,k} = 114,30 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_{M2}} = 91,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{c,0,k} = 189,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M2}} = 151,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{c,90,k} = 156,30 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_{M2}} = 125,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{v,0,k} = 93,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{v,0,d} = \frac{f_{v,0,k}}{\gamma_{M2}} = 74,56 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{v,90,k} = 117,90 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{v,90,d} = \frac{f_{v,90,k}}{\gamma_{M2}} = 94,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$k_v = 0,93$$

$$\gamma_0 = 0,0^\circ$$

a) únosnost desky

$$F_M = \frac{2M_d}{l_s} = \frac{2 \times 0,52 \times 10^3}{155,3} = 6,7 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} = F_d \cos(\alpha) \pm 2F_M \sin(\gamma) = (7,77 + 0,32) \times \cos(15) \pm 6,7 \times \sin(15) = \begin{cases} 9,55 \text{ kN} \\ 6,08 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{y,d} = F_d \sin(\alpha) \pm 2F_M \cos(\gamma) = (7,77 + 0,32) \times \sin(15) \pm 6,7 \times \cos(15) = \begin{cases} 8,56 \text{ kN} \\ -4,38 \text{ kN} \end{cases}$$

$$f_{n,0,d} = f_{t,0,d} = 240,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tahu ve směru } x)$$

$$f_{n,90,d} = f_{t,90,d} = 91,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tahu ve směru } y)$$

$$f_{x,d} = \max \begin{cases} f_{n,0,d} \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma)) = 240,08 \times \sin(15 - 0) = 62,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ f_{v,0,d} |\cos(\gamma)| = 74,56 \times |\cos(15)| = 72,02 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \end{cases}$$

$$k = 1,0$$

$$f_{y,d} = \max \begin{cases} f_{n,90,d} |\cos(\gamma)| = 91,44 \times \cos(15) = 88,32 \frac{N}{mm} \\ k \times f_{v,90,d} \sin(\gamma) = 1,0 \times 94,32 \times \sin(15) = 24,41 \frac{N}{mm} \end{cases}$$

$$s_{x,d} = \frac{F_{x,d}}{l_s} = \frac{9,55 \times 10^3}{155,3} = 61,48 \frac{N}{mm}$$

$$s_{y,d} = \frac{F_{y,d}}{l_s} = \frac{8,56 \times 10^3}{155,3} = 55,14 \frac{N}{mm}$$

Posouzení pro dvě styčnickové desky s prolisovanými trny:

$$\left(\frac{s_{x,d}}{2f_{x,d}} \right)^2 + \left(\frac{s_{y,d}}{2f_{y,d}} \right)^2 = \left(\frac{61,48}{2 \times 72,02} \right)^2 + \left(\frac{55,14}{2 \times 88,32} \right)^2 = 0,28 \leq 1$$

Vyhovuje

b) únosnost trnů pro horní pás

$$M_d = 0,52 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 87 \text{ mm}$$

$$I_p = 15,75 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{(7,77 + 0,32) \times 10^3}{8850} = 0,88 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 4,49 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_d r_{max}}{I_p} = \frac{0,52 \times 10^3 \times 87}{15,75 \times 10^6} = 2,87 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 0,88 + 2,87 = 3,75 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5 f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

c) únosnost trnů pro dolní pás

$$M_A = 0,08 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 107 \text{ mm}$$

$$I_p = 12,05 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{6,02 \times 10^3}{6578} = 0,68 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,08 \times 10^3 \times 107}{12,05 \times 10^6} = 0,71 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 0,68 + 0,71 = 1,39 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5 f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Tab. 4.6 Rozměry styčnickových desek s prolisovanými trny

Spoj	Pruty ve spoji (viz obrázek Obr. 4.13)	Rozměry desky [b×h]
1,11	H, S	150×120
2,10	H, D1	100×140
3,9	S, D1, D2	140×120
4,8	H, D2, D3	180×120
5,7	S, D3, D4	140×120
6	H, D4	180×120

4.8.2. Napojení vazníku na vaznici

Spojení vazníku s vaznicí se provede pomocí spojovacího úhelníku od firmy BOVA.

Nejhorší kombinace zatížení (Obr. 4.22):

Kombinace 138 (vl. tíha, vítr_4)

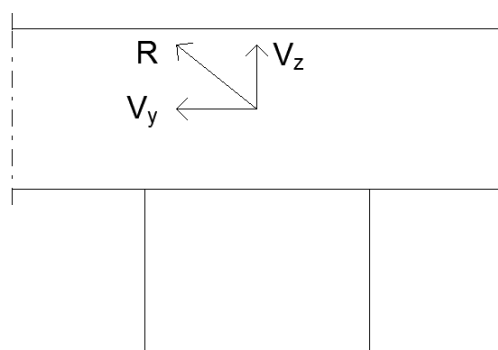
$$V_{z,max} = 2,19 \text{ kN}$$

$$V_{y,přísl} = 2,76 \text{ kN}$$

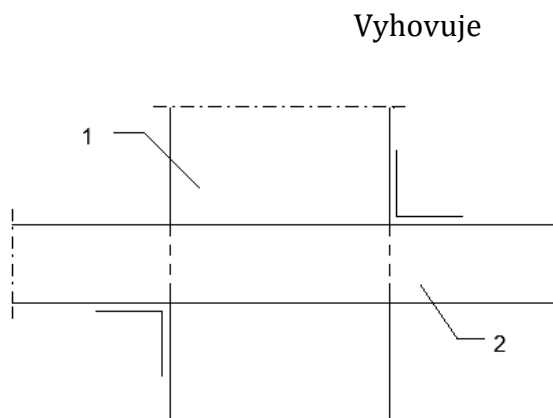
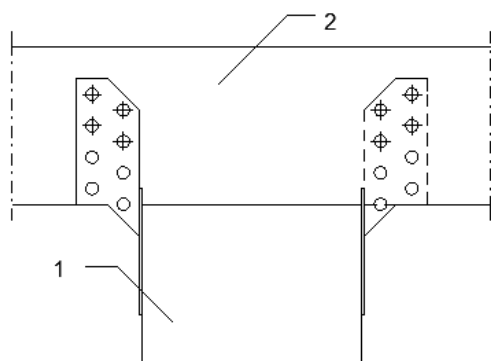
$$R = \sqrt{V_{z,max}^2 + V_{y,přísl}^2} = \sqrt{2,19^2 + 2,76^2} = 3,52 \text{ kN}$$

Byl navrhnut spoj výšky 150 mm s počtem hřebíků 4×4 průměru 4 mm. Únosnost tohoto spoje je podle katalogu BOVA $F_{HR} = 5,76 \text{ kN}$ (viz příloha E) (Obr. 4.23).

$$F_{HR} = 5,76 \text{ kN} \geq R = 3,52 \text{ kN}$$



Obr. 4.22 Schéma zatížení ve spoji



Obr. 4.23 Uložení spojovacího úhelníku (pohled vlevo, půdorys vpravo)
(1 - vaznice, 2 - vazník)

4.8.3. Spojení sloupu a vaznice

Tento spoj se provede pomocí vložené ocelové desky do předem připravených drážek ve sloupu a vaznici (Obr. 4.24).

Nejhorší kombinace zatížení:

Kombinace 143 (vl. tíha, vítr_9)

$$V_{z,max} = 3,32 \text{ kN}$$

$$V_{y,přísl} = 1,8 \text{ kN}$$

$$R = 3,78 \text{ kN}$$

Posouzení svorníku

Ve spoji jsou použity svorníky M10 4.6

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ (hustota dřeva C24)}$$

$$b_{sloup} = 140 \text{ mm}$$

$$h_{sloup} = 160 \text{ mm}$$

$$b_{vaznice} = 140 \text{ mm}$$

$$h_{vaznice} = 200 \text{ mm}$$

$$t_d = 4 \text{ mm}$$

$$t_1 = \frac{(b_{vaznice} - t_d)}{2} = \frac{(140 - 4)}{2} = 68 \text{ mm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \times 10) \times 350 = 25,83 \text{ MPa}$$

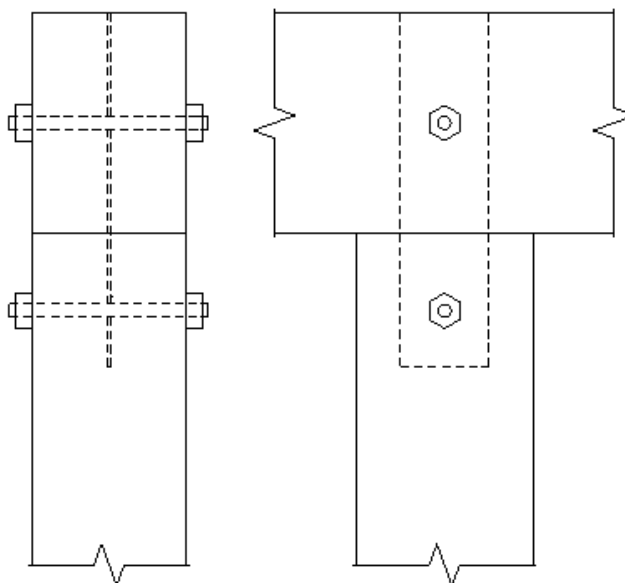
$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 \times 10 = 1,5$$

$$\alpha_1 = 61,5^\circ$$

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2(\alpha_1) + \cos^2(\alpha_1)} = \frac{25,83}{1,5 \times \sin^2(61,5) + \cos^2(61,5)} = 18,63 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} = 0,3 \times 400 \times 10^{2,6} = 47,77 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2,3 \sqrt{M_{y,Rk}f_{h,1,k}d}} \\ f_{h,1,k}t_1d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_1^2}} - 1 \right] \end{array} \right.$$



Obr. 4.24 Schéma spoje pomocí vložené desky se svorníkem

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 18,63 \times 68 \times 10 = 12671 \text{ N} \\ 18,63 \times 68 \times 10 \times \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 47,77 \times 10^3}{18,63 \times 10 \times 68^2}} - 1 \right] = 6216 \text{ N} \\ 2,3 \sqrt{47,77 \times 10^3 \times 18,63 \times 10} = 6862 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{6216 \times 10^{-3}}{1,3} = 3,83 \text{ kN} \geq R = 3,78 \text{ kN}$$

Vyhovuje

K únosnosti svorníkového spoje lze přičíst účinek sepnutí a zvýšit tak únosnost o 25%.

Minimální vzdálenosti od okrajů a konců se určí z tabulky (Tab. 4.7).

Tab. 4.7 Minimální vzdálenosti od okrajů a konců pro svorníky

Vzdálenost od okrajů/konců	Úhel	Minimální vzdálenosti
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ < \alpha < 90^\circ$	max (7d; 80 mm)
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	max [(1+sin α)d; 4d]
	$150^\circ < \alpha < 210^\circ$	4d
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	max [(1+sin α)d; 4d]
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ < \alpha < 180^\circ$	max [(2+2sin α)d; 3d]
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	3d

Vazník

$$a_{4,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} (2 + 2 \sin \alpha_1) d = (2 + 2 \sin(61,5)) \times 10 = 37,58 \text{ mm} \\ 3d = 3 \times 10 = 30 \text{ mm} \end{array} \right. \leq \frac{h_{vaznice}}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3d = 30 \text{ mm} \leq \frac{h_{vaznice}}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Sloup

$$a_{3,t} = \left\{ \begin{array}{l} 7d = 7 \times 10 = 70 \text{ mm} \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right. \leq \frac{h_{sloup}}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} (2 + 2 \sin \alpha_1) d = (2 + 2 \sin(61,5)) \times 10 = 37,58 \text{ mm} \\ 3d = 3 \times 10 = 30 \text{ mm} \end{array} \right. \leq \frac{h_{sloup}}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3d = 30 \text{ mm} \leq \frac{h_{sloup}}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Posouzení ocelové desky

Ocelová deska bude z oceli S235.

$$f_{y,k} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{1,25} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa}$$

$$b_d = 80 \text{ mm}$$

$$t_d = 4 \text{ mm}$$

$$A = b_d t_d = 80 \times 4 = 320 \text{ mm}^2$$

$$A_{osl} = A - (d \times t_d) = 320 - (10 \times 4) = 280 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = f_{y,d} A_{osl} = 188 \times 10^{-3} \times 280 = 52,64 \text{ kN}$$

Pro spoj je rozhodující únosnost svorníků.

4.8.4. Spojení sloupu a vaznice s diagonálou

Spojení bude provedeno pomocí ocelové desky, která je přivařena k vložené desce sloupu a vaznice (viz podkapitola 4.8.3). (Obr. 4.25)

Posouzení hřebíků

$$N_{max} = 3,94 \text{ kN}$$

$$f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ (hustota dřeva C24)}$$

$$t_d = 4 \text{ mm}$$

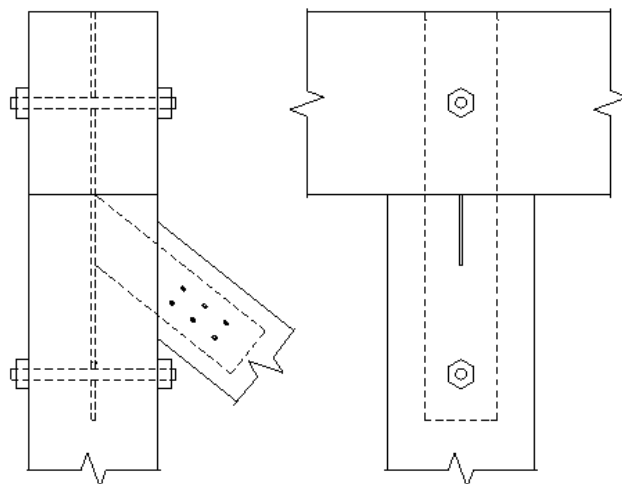
$$b_{diagonala} = 100 \text{ mm}$$

$$d = 3 \text{ mm}$$

$$t_1 = \frac{(b_{diagonala} - t_d)}{2} = \frac{(100 - 4)}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \times 3) \times 350 = 27,84 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} = 0,3 \times 400 \times 3^{2,6} = 2,09 \times 10^3 \text{ Nmm}$$



Obr. 4.25 Schéma spoje

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 27,84 \times 48 \times 3 = 4009 \text{ N} \\ 27,84 \times 48 \times 3 \times \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 2,09 \times 10^3}{27,84 \times 3 \times 48^2}} - 1 \right] = 1722 \text{ N} \\ 2,3 \sqrt{2,09 \times 10^3 \times 27,84 \times 3} = 960 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = 960 \text{ N} = 0,96 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{0,96}{1,3} = 0,59 \text{ N}$$

$$n = \frac{N_{max}}{F_{v,Rd}} = \frac{3,94}{2 \times 0,59} = 3,33$$

Dohromady je navrženo 6 hřebíků Ø3/70 ve dvou řadách. V jedné řadě budou umístěny tři hřebíky s roztečí 30 mm ve směru vláken. Druhá řada bude vzdálená od první 20 mm kolmo na vlákna.

$$F_{v,Rd} = 2 \times n \times F_{v,Rd} = 2 \times 6 \times 0,59 = 7,08 \text{ kN} \geq N_{max} = 3,94 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Tab. 4.8 Minimální rozteče a vzdálenosti hřebíků

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Minimální rozteče a vzdálenosti (s předvrtanými otvory) d < 5 mm
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ < \alpha < 360^\circ$	$(4 + \cos(\alpha_1)) d$
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ < \alpha < 360^\circ$	$(3 + \sin(\alpha_1)) d$
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ < \alpha < 90^\circ$	$(7 + 5 \cos(\alpha_1)) d$
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ < \alpha < 270^\circ$	7d
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ < \alpha < 180^\circ$	$(3 + 2 \sin(\alpha_1)) d$
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ < \alpha < 360^\circ$	3d

$$\alpha_1 = 0^\circ$$

$$a_1 = (4 + |\cos(0)|) \times 3 = 15 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$$

$$a_2 = (3 + \sin(0)) \times 3 = 9 \text{ mm} \leq 20 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = (7 + 5 \times \cos(0)) \times 3 = 36 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = (3 + 2 \times \sin(0)) \times 3 = 15 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3 \times 3 = 9 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru

$$N_{max} = 3,07 \text{ kN}$$

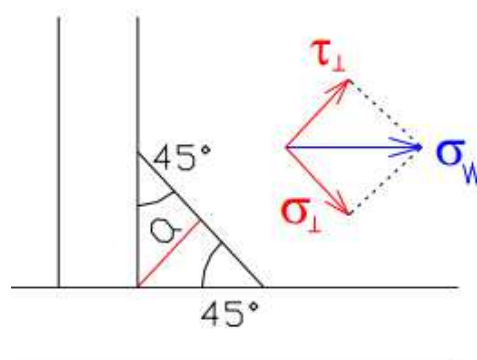
$$V_{max} = 2,46 \text{ kN}$$

Ocel S235

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Mw} = 1,5$$

$$\beta_w = 0,8$$



Obr. 4.26 Napětí v koutovém svaru 2D [15]

Parametry svaru

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 t_{min} = 1,1 \times 4 = 4,4 \text{ mm}$$

$$L_{min} = \begin{cases} 6a = 6 \times 3 = 18 \text{ mm} \\ 30 \text{ mm} \end{cases}$$

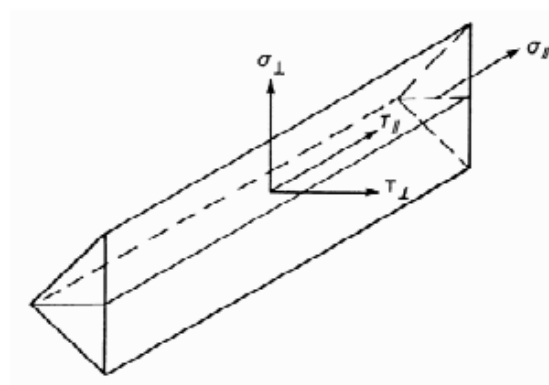
$$a = 3 \text{ mm}$$

$$L = 70 \text{ mm}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{max}}{A} = \frac{3,07 \times 10^3}{2 \times 3 \times 70} = 7,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{7,31}{\sqrt{2}} = 5,17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{max}}{A} = \frac{2,46 \times 10^3}{2 \times 3 \times 70} = 5,86 \text{ MPa}$$



Obr. 4.27 Napětí v koutovém svaru 3D [15]

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{5,17^2 + 3 \times 5,17^2 + 3 \times 5,86^2} = 14,48 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}} = \frac{360}{0,8 \times 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

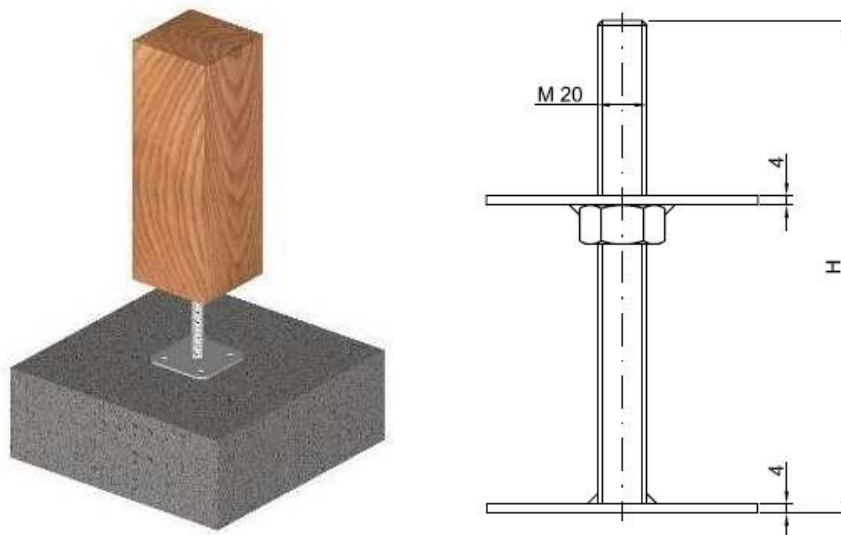
$$\sigma_{\perp} = 5,17 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{360}{1,5} = 240 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5. Návrh a posouzení nosných prvků konstrukce přístřešku

5.1. Konstrukční řešení

Konstrukce přístřešku se sestává ze stejného konstrukčního systému jako rodinný dům. Hlavní nosnou konstrukci tvoří jednodílná vaznice uložená na jednodílný sloup. Střešní konstrukce je tvořena krokvemi se záklopem. Sloupy přiléhají k obvodové stěně rodinného domu. Spoje jsou řešeny hřebíkovými spoji. Dřevěné prvky se před montáží povrchově upraví ochranným nátěrem značky BALAKRYL. Nosné sloupy nesmí být v kontaktu se zemínou, proto bude v patě umístěna výškově nastavitelná kotevní patka. Ta je tvořena ocelovou závitovou tyčí a přivařeným ocelovým plechem jakosti S235JR (pozinkovaný) (Obr. 5.1). Stabilita konstrukce je zajištěna dřevěnými pásky umístěnými po obvodu nosných prvků (Obr. 5.2).



Obr. 5.1 Výškově nastavitelná kotevní patka garážového stání [22]



Obr. 5.2 Nosná kostra garážového stání

5.2. Zatížení konstrukce

5.2.1. Zatížení vlastní tíhou

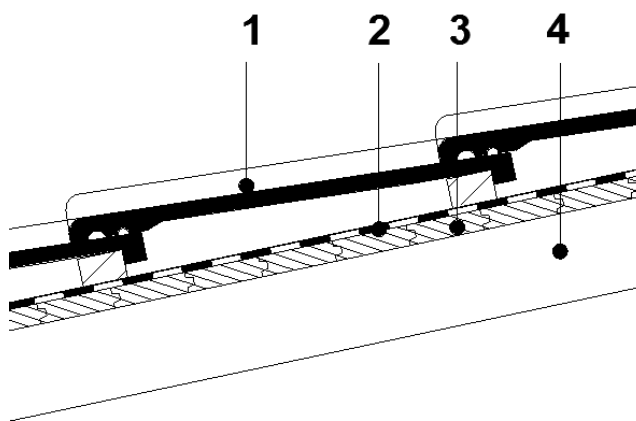
Skladba střešního pláště přístřešku je zobrazena na Obr. 5.3 (Tab. 5.1).

1 Krytina

2 Hydroizolace

3 Střešní bednění

4 Krokev



Obr. 5.3 Skladba střešního pláště přístřešku

Tab. 5.1 Skladba střešního pláště přístřešku

Název vrstvy	Údaje pro výpočet	Charakteristická hodnota zatížení [kNm ⁻¹]
Krytina Tondach	$m = 40,7 \text{ kgm}^{-2}$	0,407
Střešní bednění	Tl. 27 mm, $\rho = 420 \text{ kgm}^{-3}$	0,1134
Σ		0,5204

5.2.2. Zatížení sněhem

Viz podkapitola 4.1.3

5.2.3. Zatížení větrem

$$h = 2,5 \text{ m}$$

$$z = z_e = z_i = 2,5 \text{ m}$$

Součinitel terénu k_r závisí na parametru drsnosti terénu z_0 a $z_{0,II}$ (součinitel pro terén II. kategorie), viz tabulka Tab. 4.3.

$$k_r = 0,19 \times \ln \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \times \ln \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

$$c_r(z) = k_r \times \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \times \ln \frac{2,5}{0,3} = 0,46$$

$$v_m = c_r(z) c_0(z) v_b = 0,46 \times 1,0 \times 25,0 = 11,50 \text{ m/s}$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \ln \frac{2,5}{0,3}} = 0,47$$

$$q_p = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho_v v_m^2 = [1 + 7 \times 0,355] \frac{1}{2} \times 1,25 \times 11,50^2 = 354,6 \text{ N/m}^2 = 0,35 \text{ kN/m}^2$$

Síla od větru

$$c_s c_d = 1,0$$

Referenční plocha je délka krokve l vynásobena účinnou šířkou b_{ef} .

$$l = 3,5 \text{ m}$$

$$b_{ef} = 1,0 \text{ m}$$

$$A_{ref} = 3,5 \times 1,0 = 3,5 \text{ m}^2$$

Součinitel výsledné síly c_f a výsledného tlaku $c_{p,net}$ závisí na součiniteli plnosti a sklonu přístřešku. Přístřešek je ve směru větru z jedné strany úplně uzavřen, proto $\varphi = 1$. Sklon přístřešku činí 5° . (Obr. 5.4)

$$c_f = -1,4$$

$$c_{p,net}^A = -1,6$$

$$c_{p,net}^B = -2,2$$

$$c_{p,net}^C = -2,5$$

Výsledná síla je umístěna ve vzdálenosti $d/10$ na nosný prvek ve směru větru (Obr. 5.5).

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(z) A_{ref} = 1,0 \times (-1,4) \times 0,35 \times 3,5 = -1,72 \text{ kN}$$

Výsledný tlak

$$w_k^A = q_p \times c_{p,net}^A = 0,35 \times (-1,6) = -0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = q_p \times c_{p,net}^B = 0,35 \times (-2,2) = -0,77 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = q_p \times c_{p,net}^C = 0,35 \times (-2,5) = -0,88 \text{ kN/m}^2$$

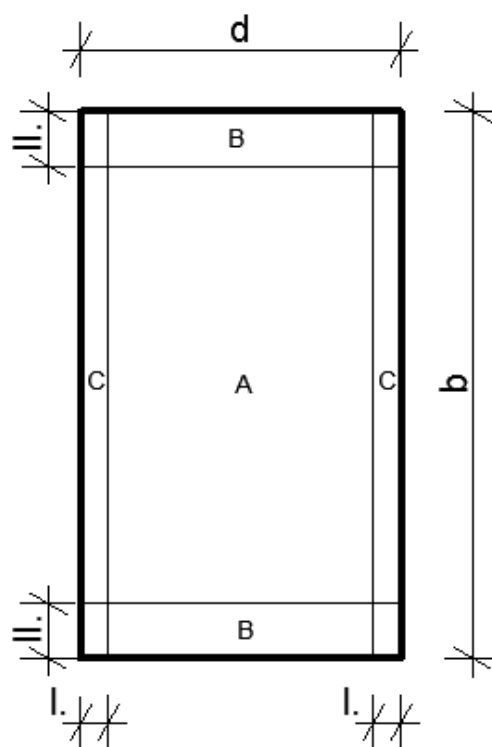
Legenda pro půdorys přístřešku

$$d = 3000 \text{ mm}$$

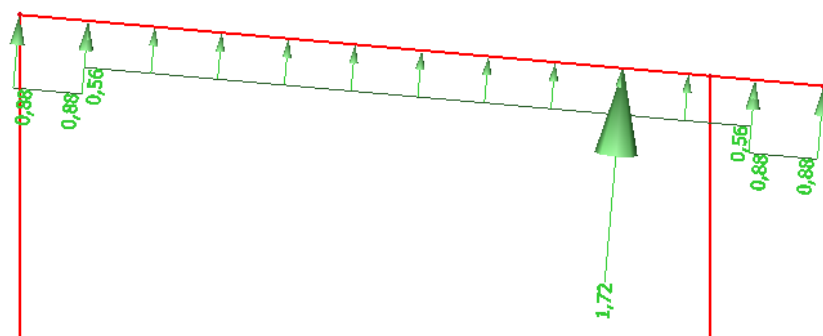
$$b = 6000 \text{ mm}$$

$$I. = \frac{d}{10} = \frac{3000}{10} = 300 \text{ mm}$$

$$II. = \frac{b}{10} = \frac{6000}{10} = 600 \text{ mm}$$



Obr. 5.4 Rozdělení přístřešku na oblasti



Obr. 5.5 Vykreslení zatížení větrem na krokev

5.3. Krokev

Vnitřní síly, na které bude krokev posuzována (příloha F)

$$M_{max}^+ = 1,9 \text{ kNm}$$

$$V_{max} = 3,0 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky

Dřevo C24 (rostlé dřevo), třída provozu 3, zatížení střednědobé

$$k_{mod} = 0,65$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$k_{def} = 0,6$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa} \rightarrow f_{m,d} = 12,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ MPa} \rightarrow f_{v,d} = 2,0 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

Posuzovaný průřez krokve je $100 \times 140 \text{ mm}$ (šířka \times výška). V místě spojení krokve s vaznicí je průřez oslaben o 20 mm.

$$A = b \times h = 120 \times 140 = 16800 \text{ mm}^2$$

$$A_{osl} = b \times (h - 20) = 100 \times (140 - 20) = 12000 \text{ mm}^2$$

$$A_{osl,ef} = k_{cr} \times A = 0,67 \times 12000 = 8040 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 100 \times 140^2 = 32,67 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Posouzení v ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{max}^+}{W_{y,osl}} = \frac{1,9 \times 10^3}{32,67 \times 10^4} = 5,8 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 12,00 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení ve smyku v místě oslabení

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \frac{V_{max}}{A_{ef,osl}} = \frac{3}{2} \frac{3,0 \times 10^3}{8040} = 0,56 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 2,00 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.4. Vaznice

Vnitřní síly, na které bude vaznice posuzována (příloha F):

$$M_{max}^- = -1,65 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^+ = 1,86 \text{ kNm}$$

$$V_{max} = 5,02 \text{ kN}$$

$$R_{max} = 9,21 \text{ kN} \text{ (maximální normálová síla ve spoji vaznice – pásek)}$$

Materiálové charakteristiky

Dřevo C24 (rostlé dřevo), třída provozu 3, zatížení střednědobé

$$k_{mod} = 0,65$$

$$k_{cr} = 0,67$$

$$k_{def} = 0,6$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa} \rightarrow f_{m,d} = 12,00 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ MPa} \rightarrow f_{v,d} = 2,00 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,0,d} = 10,50 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

Posuzovaný průřez vaznice je 120 × 140 mm (šířka × výška).

$$A = b \times h = 120 \times 140 = 16800 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef} = k_{cr} \times A = 0,67 \times 16800 = 11256 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} \times 120 \times 140^2 = 39,20 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Posouzení v ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{max}^-}{W_{y,osl}} = \frac{|-1,65 \times 10^3|}{39,20 \times 10^4} = 4,82 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 12,00 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení ve smyku

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \frac{V_{max}}{A_{ef,osl}} = \frac{3}{2} \frac{5,02 \times 10^3}{11256} = 0,67 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 2,00 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení v otláčení v podpoře pod úhlem

$$k_{c,90} = 1,0 \text{ (lze brát konzervativně roven 1,0)}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$l_{ef} = l = 100 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = b \times \cos(\alpha) = 100 \times \cos(45) = 141,4 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = l_{ef} \times b_{ef} = 141,4 \times 100 = 14140 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{max}}{A_{ef}} = \frac{9,21 \times 10^3}{14140} = 0,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)} = \frac{10,5}{\frac{10,5}{1 \times 1,25} \times \sin^2(45) + \cos^2(45)} = 2,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,66 \leq 2,23 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.5. Pásek

Vnitřní síly (příloha F)

$$N_{max}^- = 9,34 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky

$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{mod} = 0,65$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,0,d} = 10,50 \text{ MPa}$$

$$\beta_c = 0,2$$

Průřezové charakteristiky

$$A = b \times h = 100 \times 100 = 10000 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 100^3 = 83,33 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{83,33 \times 10^5}{10000}} = 28,87 \text{ mm}$$

Posouzení diagonály na vzpěrný tlak

$$L_{cr,y} = 1131 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1131}{28,87} = 39,18$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{39,18}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,66$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (0,66 - 0,3) + 0,66^2] = 0,76$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,76 + \sqrt{0,76^2 - 0,66^2}} = 0,89$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{max}^-}{A} = \frac{9,34 \times 10^3}{10000} = 0,93 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} = \frac{0,93}{0,89 \times 10,50} = 0,1 \leq 1$$

Vyhovuje

5.6. Sloup – prostřední

Sloup je zatížen pouze normálovou silou $N_{max} = -14,52 \text{ kN}$ (příloha F)

Materiálové charakteristiky

Dřevo C24 (rostlé dřevo), třída provozu 3, zatížení střednědobé

$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{mod} = 0,65$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa} \rightarrow f_{c,0,d} = 10,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

Sloup průřezu $120 \times 140 \text{ mm}$.

$$A = b \times h = 120 \times 140 = 16800 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 120 \times 140^3 = 27,44 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} \times 140 \times 120^3 = 20,16 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{27,44 \times 10^6}{16800}} = 40,42 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{20,16 \times 10^6}{16800}} = 34,64 \text{ mm}$$

Jelikož je poloměr setrvačnosti i_y větší než i_z , bude se dále počítat s i_z , ale musí platit, že $L_{cr,y}$ je roven $L_{cr,z}$ a to je v tomto případě splněno.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2100 \text{ mm}$$

$$\beta_c = 0,2$$

Posouzení na vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,d} = \frac{N_{max}}{A} = \frac{14,52 \times 10^3}{16800} = 0,86 \text{ MPa}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2100}{34,64} = 60,62$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{60,62}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,03$$

$$k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5[1 + 0,2(1,03 - 0,3) + 1,03^2] = 1,10$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,10 + \sqrt{1,10^2 - 1,03^2}} = 0,62$$

Posouzení

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{0,86}{0,62 \times 10,50} = 0,13 \leq 1$$

Vyhovuje

5.7. Sloup – krajní

Krajní sloup je zatížen maximální ohybovým momentem, který je vyvolaný tlakem pásku a příslušnou normálovou silou. Předpokládá se stejně velký ohybový moment v ose z jako v ose y.

Vnitřní síly, na které bude krajní sloup posuzovaný:

$$M_{y,max} = -1,43 \text{ kNm}$$

$$M_{z,přísl} = -1,43 \text{ kNm}$$

$$N_{přísl} = -5,4 \text{ kN}$$

$M_{z,max}$ nebyla posuzovaná, neboť dosahovala podobné hodnoty jako $M_{y,max}$.

Průřezové a materiálové charakteristiky včetně součinitele vzpěru k_c viz kapitola 5.6.

$$W_y = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 120 \times 140^2 = 39,20 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 140 \times 120^2 = 33,60 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Posouzení na dvouosý ohyb a vzpěrný tlak

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{přisl}}{A} = \frac{5,4 \times 10^3}{16800} = 0,32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{max}}{W_y} = \frac{1,43 \times 10^6}{39,20 \times 10^4} = 3,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{přisl}}{W_z} = \frac{1,43 \times 10^6}{33,60 \times 10^4} = 4,26 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \times f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,32}{0,62 \times 12,92} + 0,7 \frac{3,65}{12,00} + \frac{4,26}{12,00} = 0,60 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,32}{0,62 \times 12,92} + \frac{3,65}{12,00} + 0,7 \frac{4,26}{12,00} = 0,62 \leq 1$$

Vyhovuje

6. Požární odolnost

Požární odolnost je doba, po kterou musí konstrukce zůstat stabilní a zajistit tak bezpečný únik osob z objektu. Dřevo je vůči požáru dobře odolné, protože na rozdíl od oceli, neztrácí svou pevnost a tuhost. Při vzplanutí povrchu dřevěného prvku se po určité době vytvoří zuhelnatělá vrstva dřevěné hmoty, která tlumí hoření a chrání nepoškozenou část průřezu. Dřevěné prvky lze chránit povrchovou úpravou nebo impregnací, ale nelze minimalizovat riziko vzplanutí dřevěného prvku. Pro obytné budovy se zpravidla považuje za minimální dobu pro evakuaci do 30 minut. [19]

Konstrukce bude posouzena metodou redukovaného průřezu, při kterém se z výpočtu odečte plocha zasažena požárem (zuhelnatělá vrstva). Dřevěný prvek s redukovaným průřezem (efektní plochou) se následně posoudí na mezní stav únosnosti dle platných norem. Pokud je průřez natolik poškozen požárem, že nesplňuje kritérium únosnosti, je potřeba zvětšit průřez nebo daný prvek náležitě ochránit. V současné době je mnoho možností protipožární ochrany dřeva, ale mezi nejvíce používané se řadí obklady (například OSB desky) nebo protipožární nátěry. Je třeba brát na vědomí, že tyto protipožární opatření nezajistí ochranu dřevěného prvku proti vznícení, pouze prodlužují dobu požární odolnosti v řádech minut. [19]

6.1. Vaznice

Vaznice bude posouzena na účinek požáru metodou redukovaného průřezu. Vaznice musí vydržet zatížení normovým požárem po dobu $t = 30$ minut.

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25 \text{ (pro rostlé dřevo)}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min (pro rostlé dřevo)}$$

$$d_{ef} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,8 \times 30 + 1,0 \times 7 = 31 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky

$$b_{fi} = b - 2d_{ef} = 140 - 2 \times 31 = 78 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{ef} = 200 - 2 \times 31 = 138 \text{ mm}$$

$$t_d = 4 \text{ mm}$$

$$A_{osl,fi} = (b_{fi} - t_d) \times h_{fi} = (78 - 4) \times 138 = 10212 \text{ mm}^2$$

$$A_{osl,ef,fi} = k_{cr} \times A_{osl,fi} = 0,67 \times 10212 = 6842 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,osl,fi} = \frac{1}{6} (b_{fi} - t_d) h_{fi}^2 = \frac{1}{6} \times (78 - 4) \times 138^2 = 23,49 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Posouzení vaznice s redukováným průřezem na ohyb

$$\eta_{fi} = 0,6$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \times 1,25 \times \frac{24}{1,0} = 30,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{\eta_{fi} M_{max}^-}{W_{y,osl,fi}} = \frac{0,6 \times |-11,64 \times 10^6|}{23,49 \times 10^4} = 29,73 \text{ MPa} \leq f_{m,d,fi} = 30,0 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení vaznice s redukováným průřezem na smyk

$$f_{v,d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{v,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \times 1,25 \times \frac{4}{1,0} = 5,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \eta_{fi} V_{max}}{2 A_{ef,osl,fi}} = \frac{3 \times 0,6 \times 14,19 \times 10^3}{2 \times 6842} = 1,87 \text{ MPa} \leq f_{v,d,fi} = 5,0 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

6.2. Sloup

Sloup bude posouzen na požární odolnost R30, tzn. že sloup musí vydržet zatížení normovým požárem po dobu $t = 30$ minut.

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,25 \text{ (pro rostlé dřevo)}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 = 1,0$$

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min (pro rostlé dřevo)}$$

$$d_{ef} = \beta_n t + k_0 d_0 = 0,8 \times 30 + 1,0 \times 7 = 31 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky

$$b_{fi} = b - 2d_{ef} = 140 - 2 \times 31 = 78 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2d_{ef} = 160 - 2 \times 31 = 98 \text{ mm}$$

$$A_{fi} = b_{fi} \times h_{fi} = 78 \times 98 = 7644 \text{ mm}^2$$

$$I_{z,fi} = \frac{1}{12} h_{fi} b_{fi}^3 = \frac{1}{12} \times 98 \times 78^3 = 3,88 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_{z,fi} = \sqrt{\frac{I_{z,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{3,88 \times 10^6}{7644}} = 22,53 \text{ mm}$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{L_{cr,z}}{i_{z,fi}} = \frac{2800}{22,53} = 124,35$$

$$\lambda_{rel,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{124,35}{3,14} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,11$$

$$k_{z,fi} = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,z,fi}^2] = 0,5[1 + 0,2(2,11 - 0,3) + 2,11^2] = 2,90$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,z,fi}^2}} = \frac{1}{2,90 + \sqrt{2,90^2 - 2,11^2}} = 0,096$$

Posouzení sloupu s redukovaným průřezem na vzpěrný tlak

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} = \frac{0,6 + 0,5 \times 0,8}{1,35 \times 0,6 + 1,5 \times 0,8} = 0,49$$

$$\sigma_{c,d,fi} = \frac{\eta_{fi} N_{max}}{A} = \frac{0,49 \times 37,48 \times 10^3}{7644} = 2,40 \text{ MPa}$$

$$f_{c,d,fi} = k_{c,z,fi} k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,096 \times 1,0 \times 1,25 \times \frac{21}{1,0} = 2,52 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,d,fi} = 2,40 \text{ MPa} \leq f_{c,d,fi} = 2,52 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Závěr

V první části byla stručně sepsána rešerše současných nosných systémů na bázi dřeva, které se ve světě objevují. Seznámila tak čtenáře s problematikou srubových, hrázděných a masivních staveb nebo staveb skeletových. Větší důraz byl kladen na popis těžkého dřevěného skeletu, neboť následný návrh a posouzení rodinného domu se sestává právě z tohoto systému.

V druhé části byl proveden návrh dispozičního a konstrukčního řešení přízemního rodinného domu na bázi dřeva pro čtyřčlennou rodinu. Jako konstrukční systém byl zvolen těžký dřevěný skelet, který se sestává z jednodílného sloupu a jednodílné vaznice v podélném směru ze dřeva C24. Střešní konstrukce sedlového tvaru byla řešena jako příhradový vazník se styčnickovými deskami s prolisovanými trny od firmy BOVA. Vazníky jsou od sebe odsazeny v osové vzdálenosti 1250 mm. Stabilita vazníku je zajištěna pomocí střešního bednění u horního pásu, roštu u spodního pásu a vyztuženého pole Ondřejovými kříži mezi vazníky. Tyto vyztužné prvky jsou spojeny s vazníkem pomocí hřebíkového typu spoje. Zadané průřezy vyhověly z hlediska mezního stavu únosnosti a použitelnosti. Vazníky jsou spojeny s vaznicemi pomocí spojovacích úhelníků výšky 150 mm od firmy BOVA, které musí být vždy střídavě z obou stran dřevěného profilu. Spoj sloupu s vaznicí je řešen pomocí vložené styčnickové desky uchycené svorníkem. Prostorová tuhost nosné kostry je zajištěna pomocí dřevěných diagonál. Spoj diagonál jsou řešeny pomocí přivařené desky k vložené styčnickové desce sloupu a vaznice. K desce je diagonála uchycena hřebíkovým typem spoje. Veškeré posuzované prvky splňují podmínky únosnosti dle platných norem ČSN EN. Jak stálé, tak i proměnné zatížení se do základových patek přenesou skrze nosnou konstrukci. Spojení sloupu se základovou patkou je řešeno patní deskou, která se ke sloupu přichytí svorníky.

Hlavní nosná konstrukce byla posouzena na požární odolnost pomocí metody redukovaného průřezu. Sloup i vaznice vyhověly na účinek normového požáru po dobu 30 minut. Je tak zajištěn bezpečný únik osob z objektu.

Také byl navrhnout a posouzen dřevěný přístřešek pro auto, který byl posuzován jako samostatná stavba. Konstrukce přístřešku se sestává z jednodílného sloupu a jednodílné vaznice. Tvar střechy je pultový a její konstrukce je tvořena krokviemi se záklopem. Dřevěné prvky jsou chráněny před účinky vlhkosti ochranným nátěrem BALAKRYL. V patě sloupu se umístí výškově nastavitelná kotevní patka, která zabrání vztlínání vody

z povrchu země do sloupu. Stabilita je zajištěna dřevěnými pásky, které jsou umístěny po obvodu konstrukce. Všechny spoje dřevěných prvků jsou řešeny hřebíkovým typem spoje.

Obrázky byly převzaty z internetu, literatury nebo byly namodelovány v následujících programech:

- Scia Engineer 16.1: Veškeré modely sloužící ke statické analýze řešené konstrukce
- ArchiCad 19: Vizualizace objektu, detailů a tvorba výkresů
- AutoCad 2016: Vytvoření všech modelů sloužící ke statické analýze řešené konstrukce, které byly následně importovány na programu SCIA Engineer 16.1

Veškeré výpočty byly provedeny s pomocí programu Microsoft Excel 2016. Bakalářská práce byla sepsána v programu Microsoft Word 2016.

Poděkování

Rád bych zde poděkoval Ing. Davidu Mikoláškoví Ph.D. za užitečné rady k vytvoření funkčního modelu řešené konstrukce a také bych rád velmi poděkoval Ing. Kristýně Vavrušové Ph.D. za odborné konzultace, rady, podporu a pevné nervy.

Seznam použité literatury

Normy

- [1] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí, část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí, část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [3] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí, část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1995: Navrhování dřevěných konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

Odborná literatura

- [5] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5*. Zlín: KODR, 1998. ISBN 80-238-2620-4
- [6] KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.
- [7] KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88-7
- [8] ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-080-9
- [9] TICHÝ, Milík. *Zatížení stavebních konstrukcí*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987. Technický průvodce (SNTL).
- [10] VAVERKA, Jiří. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4

Internetové zdroje

- [11] *Ballon-Frame* [online]. Central Kings Rular High, 2015 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: http://schools.ednet.ns.ca/avrsb/133/ritchiek/notes/Text/grade10/BLEUPRINT%20READING_files/image016.jpg
- [12] *Klasická hrázďená stavba* [online]. Heřmanice: Jaroslav Otčenášek [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: http://www.etnofolk.eu/sites/default/files/imagecache/gallery_640x480/2014/08/photogallery/hermanice_cp39b.jpg

- [13] *Klasická srubová stavba* [online]. 2015 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.srub.cz/data/catalog-icon/icon-1300.jpeg.small.jpg>
- [14] *Konstrukce obytného domu z masivního dřeva* [online]. Tesařství Biskup, 2009 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://1gr.cz/fotky/idnes/09/023/gal/WEB2952ac_PB140041.JPG
- [15] *Koutové svary* [online]. VŠB – TUO: Ing. Miroslav ROSMANIT, Ph.D. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~ros11/Ocel/02%20Koutove%20svary.pdf>
- [16] *Masivní dřevěné konstrukce* [online]. Petr Jiříček DiS., 2012 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/masivni-drevene-stavby>
- [17] *Platform-Frame* [online]. Purlive, 2014 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.purlive.cz/wp-content/uploads/2014/07/Platform-Frame-I.jpg>
- [18] *Plné a složené průřezy masivních staveb* [online]. Mendelova univerzita Brno: Ing. Vojtěch Veselý, 2013 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/10345-masivni-drevostavby-a-pozadavky-na-ne-kladene>
- [19] *Požární odolnost* [online]. Fakulta stavební ČVUT v Praze: Ing. arch. Petr Hejtmánek, Ing. Hana Najmanová, Ing. Marek Pokorný, Ph.D. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13655-pozarni-odolnost-stavebnich-konstrukci>
- [20] *Rodinný dům s viditelnou nosnou skeletovou konstrukcí* [online]. Turnov: TFH, 2014 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://www.tfh.cz/assets/img/refs/refs_89.jpg
- [21] *Výstavba sloupkového systému* [online]. Dagmar Čechová, 2014 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: http://www.drevoastavby.cz/images/stories/stavba_konstrukcni_prvky/03_P223_0034.JPG
- [22] *Výškově nastavitelná kotevní patka garážového stání* [online]. WINTech WOODWORK [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.wintech.cz/cs/wintech-woodwork/katalog/patka-sloupku-stavitelna-sroubem-463/patka-dreveneho-pilire-bv-p-14-01-obe-desky-zinek-bily-9762>

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Jednovrstvá srubová stěna tvořena švédskými oblouky (vlevo) a vícevrstvá srubová stěna tvořena průřezem tvaru „D“ (vpravo) [6]	- 17 -
Obr. 1.2 Srubová stavba [13]	- 17 -
Obr. 1.3 Tradiční hrázděná stavba [12]	- 18 -
Obr. 1.4 Výstavba stavby sloupkového systému [21]	- 19 -
Obr. 1.5 Skladba stěny lehkého skeletu proti vzniku tepelných mostů [6]	- 20 -
Obr. 1.6 Balloon-Frame (vlevo) [11], Platform-Frame (vpravo) [17]	- 20 -
Obr. 1.7 Vizualizace skeletové konstrukce [6]	- 21 -
Obr. 1.8 Vyztužení pouze stěnami	- 22 -
Obr. 1.9 Chybné vyztužení	- 22 -
Obr. 1.10 Vyztužení stěnami a vodorovnými tabulemi	- 22 -
Obr. 1.11 Příklad zobrazení modulové sítě (rastru)	- 23 -
Obr. 1.12 Umístění sloupu vzhledem k obvodové stěně [6]	- 24 -
Obr. 1.13 Jednodílný sloup a dvoudílný nosník [5]	- 24 -
Obr. 1.14 Dvoudílný sloup a jednodílný nosník [5]	- 25 -
Obr. 1.15 Jednodílný sloup a jednodílný nosník [5]	- 25 -
Obr. 1.16 Jednodílný průběžný sloup a vícedílný hlavní nosník [5]	- 26 -
Obr. 1.17 Vidlicový sloup [5]	- 26 -
Obr. 1.18 Rodinný dům s viditelnou nosnou skeletovou konstrukcí [20]	- 27 -
Obr. 1.19 Konstrukce obytného domu z masivního dřeva [14]	- 28 -
Obr. 1.20 Příklady plných průřezů [18]	- 29 -
Obr. 1.21 Konstrukce z masivního dřeva plného průřezu [6]	- 29 -
Obr. 1.22 Příklady složených průřezů [18]	- 30 -
Obr. 1.23 Konstrukce z masivního dřeva složeného průřezu [6]	- 30 -
Obr. 2.1 Dispoziční uspořádání rodinného domu	- 31 -
Obr. 2.2 Vizualizace severozápadní strany	- 31 -
Obr. 2.3 Vizualizace jihovýchodní strany objektu	- 32 -
Obr. 2.4 Vizualizace interiéru objektu	- 32 -
Obr. 3.1 Schéma zajištění prostorové tuhosti objektu	- 34 -
Obr. 4.1 Skladba střešního pláště	- 36 -
Obr. 4.2 Skladba stěnového pláště	- 36 -
Obr. 4.3 Mapa sněhových oblastí ČR [2]	- 38 -

Obr. 4.4 Návrhové situace zatížení sněhem	- 38 -
Obr. 4.5 Mapa větrných oblastí na oblasti ČR [3]	- 39 -
Obr. 4.6 Rozdělení plochy střechy na větrné oblasti	- 41 -
Obr. 4.7 Rozdělení plochy stěny na větrné oblasti	- 42 -
Obr. 4.8 Zatěžovací šířka modelu č. 1	- 45 -
Obr. 4.9 Model č. 1 příhradový vazník v programu SCIA Engineer	- 45 -
Obr. 4.10 Zatěžovací šířka modelu č. 2	- 46 -
Obr. 4.11 Model č. 2 rám tvořený vazníkem a sloupy v programu SCIA Engineer	- 46 -
Obr. 4.12 Model č. 3 rám tvořený sloupy a vaznicemi v programu SCIA Engineer	- 47 -
Obr. 4.13 Schéma příhradového vazníku z programu ArchiCAD 19	- 47 -
Obr. 4.14 Ohybové momenty na vaznici	- 50 -
Obr. 4.15 Příslušné normálové síly na vaznici	- 50 -
Obr. 4.16 Posouvající síly na vazníku	- 51 -
Obr. 4.17 Vyztužené pole vytvořené v programu SCIA Engineer	- 54 -
Obr. 4.18 Křížení diagonál	- 56 -
Obr. 4.19 Normálová síla sloupu	- 57 -
Obr. 4.20 Vnitřní síly rohového sloupu	- 59 -
Obr. 4.21 Efektivní plocha desky spoje 1	- 61 -
Obr. 4.22 Schéma zatížení ve spoji	- 64 -
Obr. 4.23 Uložení spojovacího úhelníku (pohled vlevo, půdorys vpravo)	- 64 -
Obr. 4.24 Schéma spoje pomocí vložené desky se svorníkem	- 65 -
Obr. 4.25 Schéma spoje	- 67 -
Obr. 4.26 Napětí v koutovém svaru 2D [15]	- 69 -
Obr. 4.27 Napětí v koutovém svaru 3D [15]	- 69 -
Obr. 5.1 Výškově nastavitelná kotevní patka garážového stání [22]	- 70 -
Obr. 5.2 Nosná kostra garážového stání	- 70 -
Obr. 5.3 Skladba střešního pláště přístřešku	- 71 -
Obr. 5.4 Rozdělení přístřešku na oblasti	- 72 -
Obr. 5.5 Vykreslení zatížení větrem na krokev	- 73 -

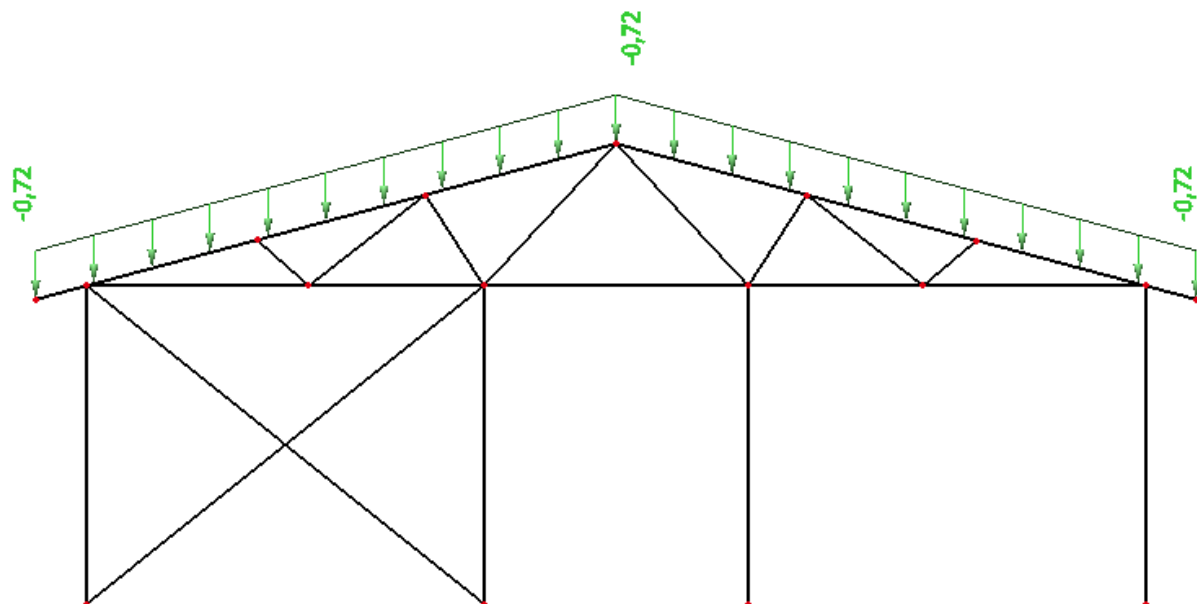
Seznam tabulek

Tab. 4.1 Skladba střešního pláště	- 36 -
Tab. 4.2 Skladba obvodového pláště	- 37 -
Tab. 4.3 Kategorie terénu	- 40 -
Tab. 4.4 Posouzení prvků vazníku na tah	- 48 -
Tab. 4.5 Posouzení prvků vazníku na tlak	- 49 -
Tab. 4.6 Rozměry styčnickových desek s prolisovanými trny	- 64 -
Tab. 4.7 Minimální vzdálenosti od okrajů a konců pro svorníky	- 66 -
Tab. 4.8 Minimální rozteče a vzdálenosti hřebíků	- 68 -
Tab. 5.1 Skladba střešního pláště přístřešku	- 71 -

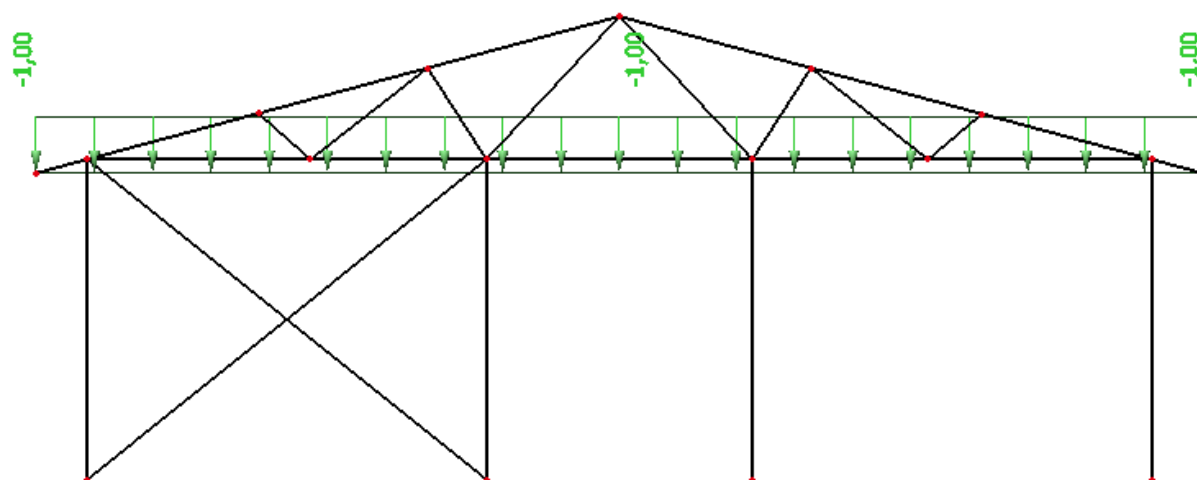
Seznam příloh

Příloha A

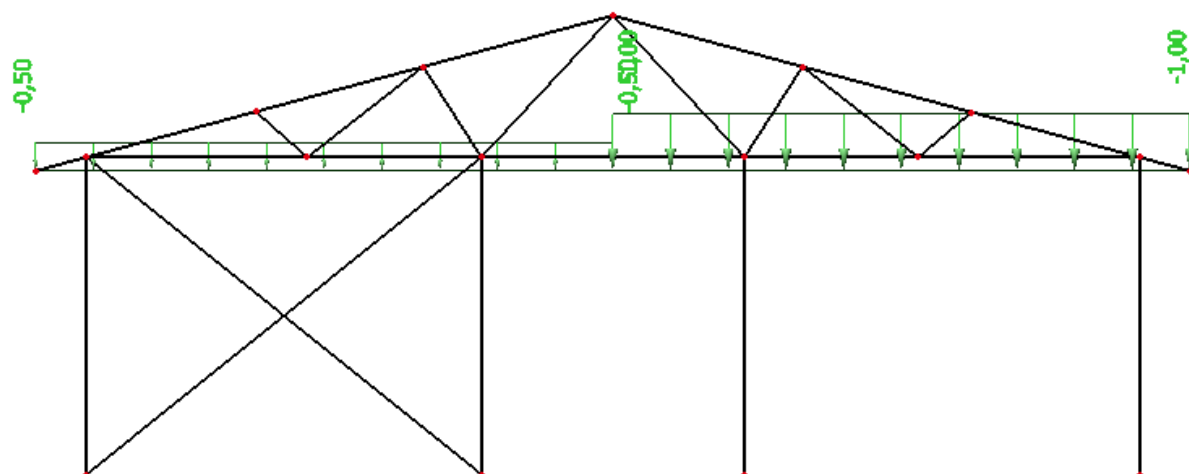
Vlastní tíha



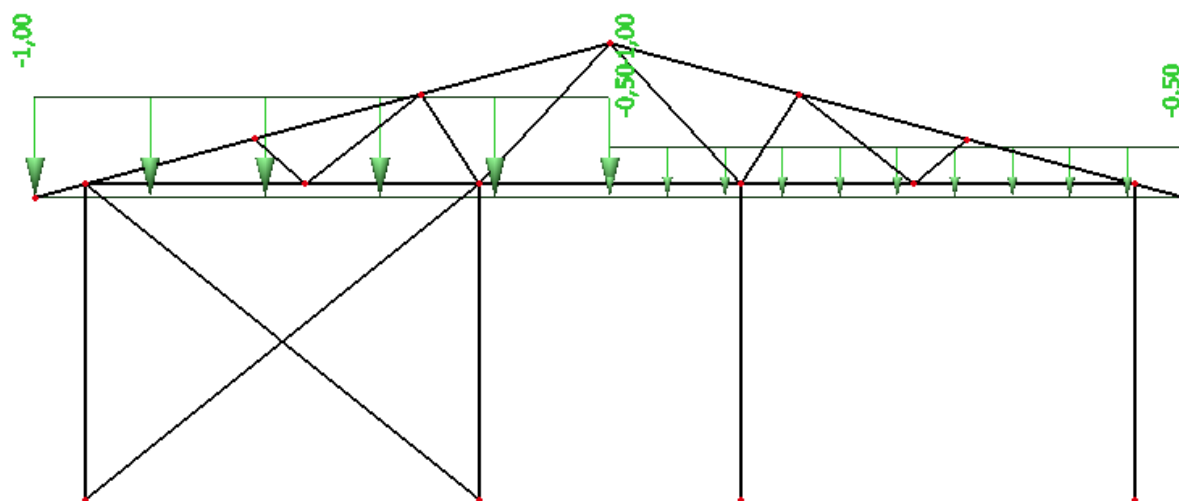
Sníh_1 (celý)



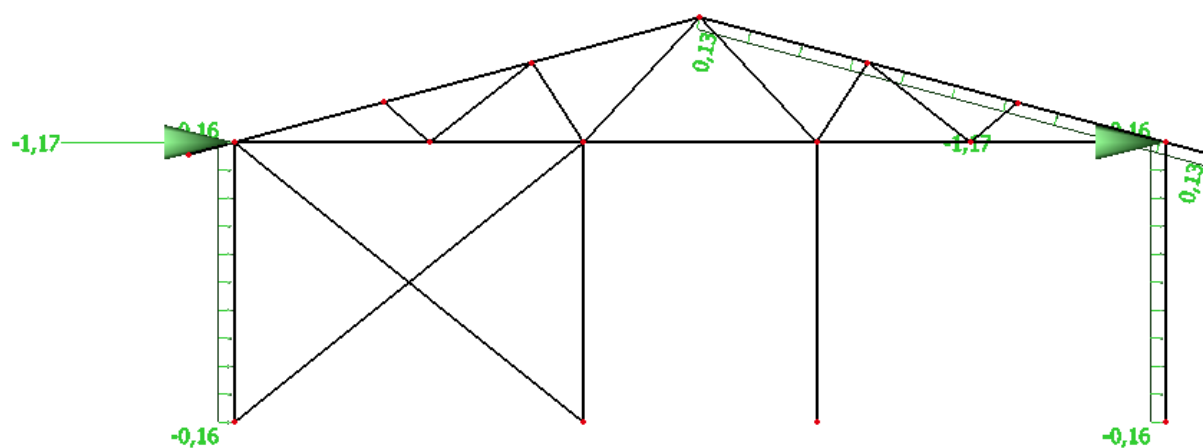
Sníh_2 (nenavátý vlevo, navátý vpravo)



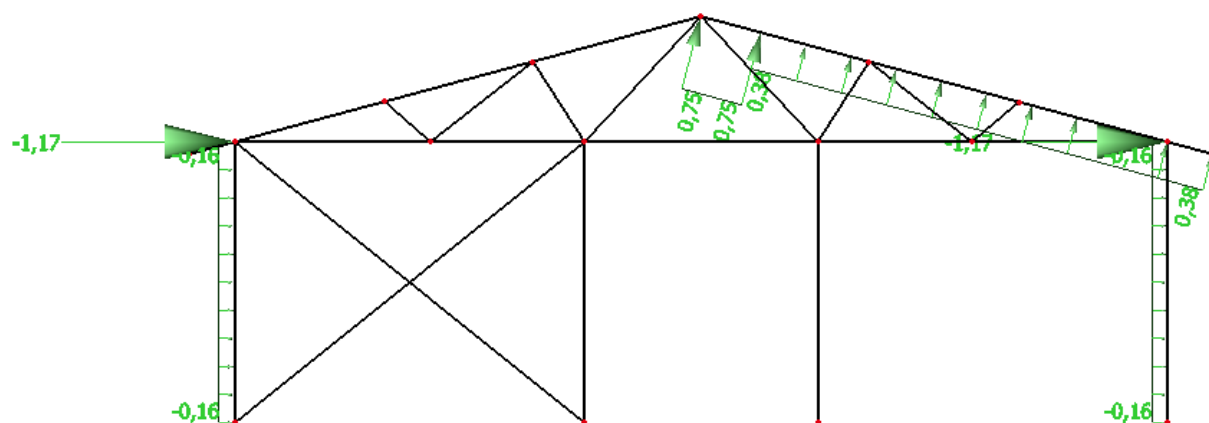
Sníh_3 (navátý vlevo, nenavátý vpravo)



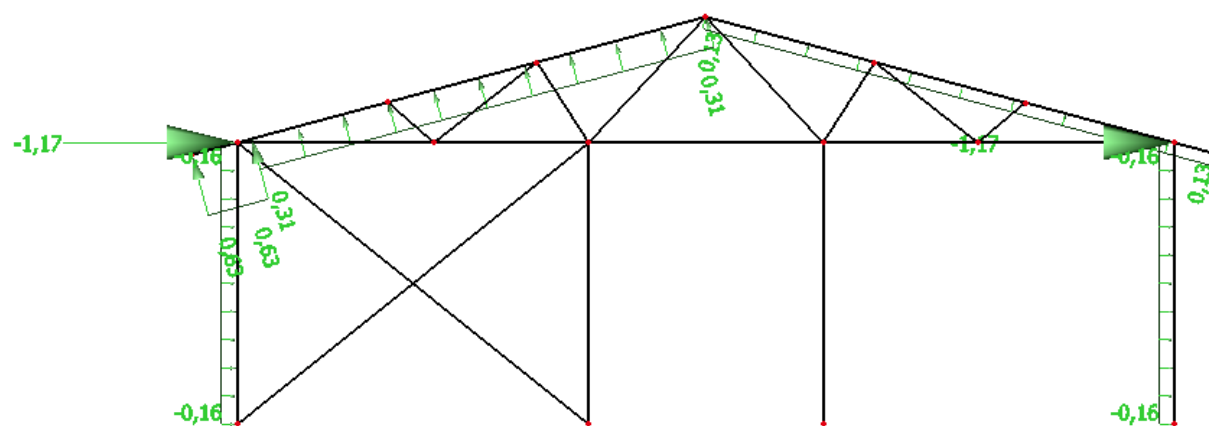
Vítr_1 (příčný vítr 0,2, součinitele s kladným indexem vlevo i vpravo)



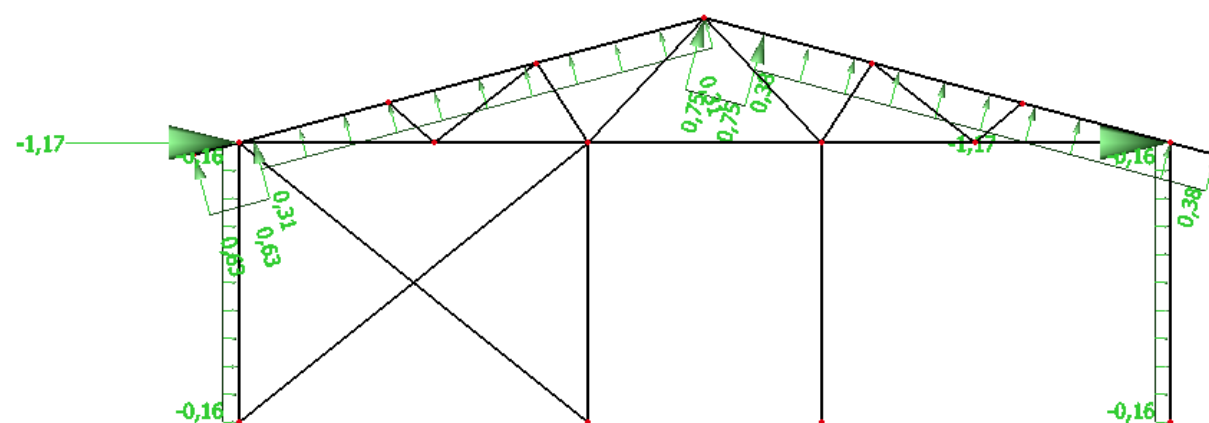
Vítr_2 (příčný vítr 0,2, součinitele s kladným indexem vlevo, záporným vpravo)



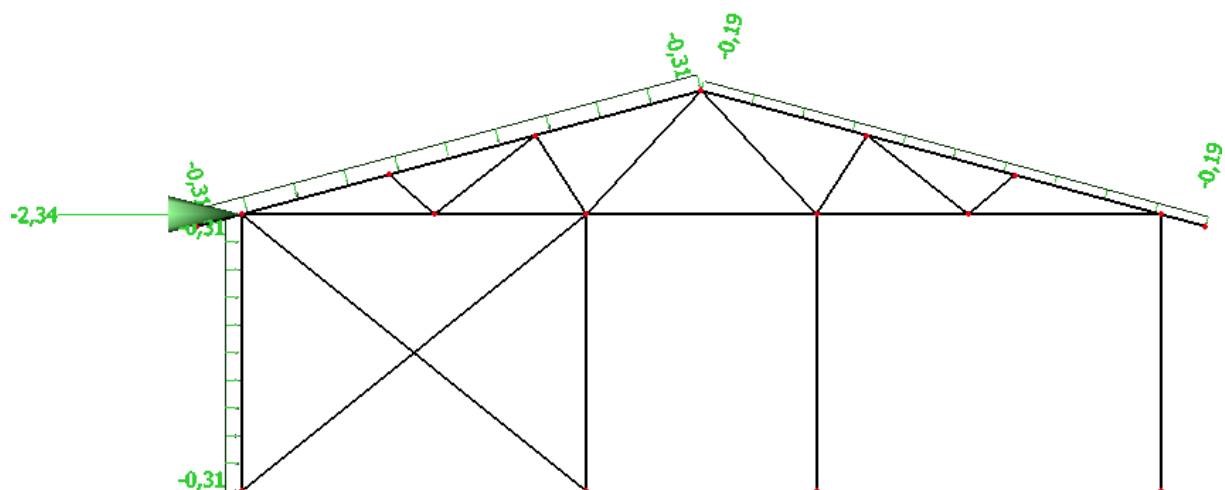
Vítr_3 (příčný vítr 0,2, součinitele se záporným indexem vlevo a kladným vpravo)



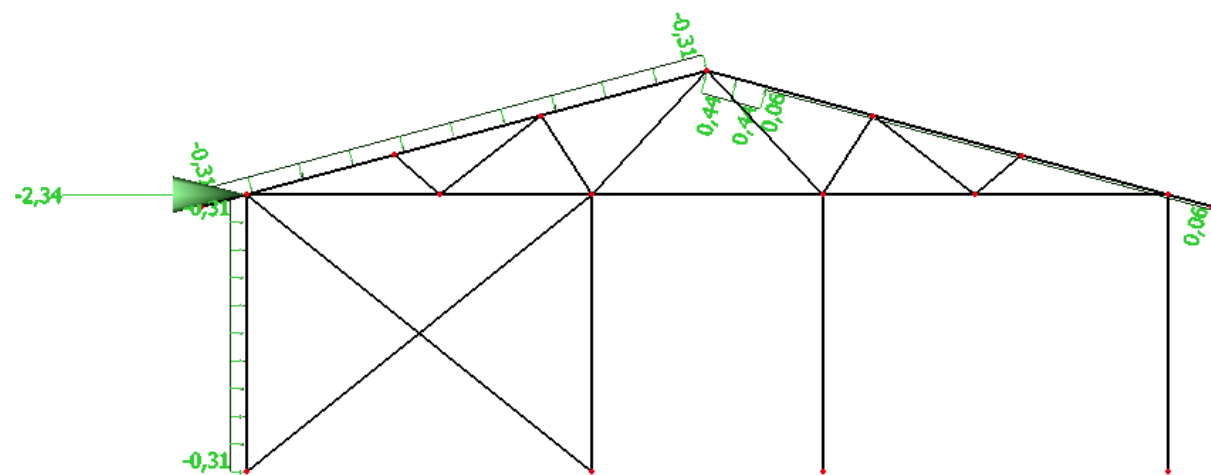
Vítr_4 (příčný vítr 0,2, součinitele se záporným indexem vlevo i vpravo)



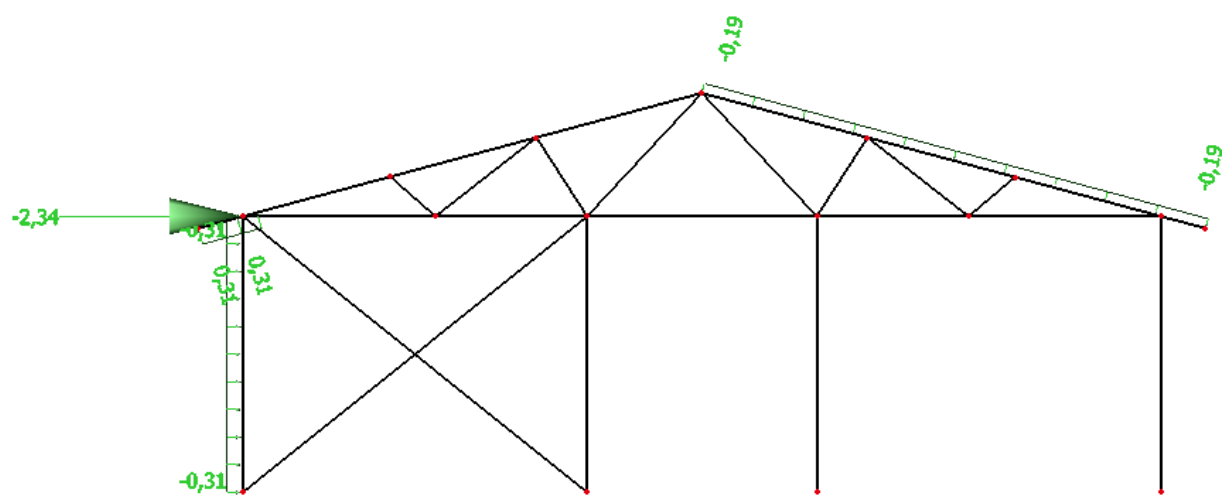
Vítr_5 (příčný vítr 0,3, součinitele s kladným indexem vlevo i vpravo)



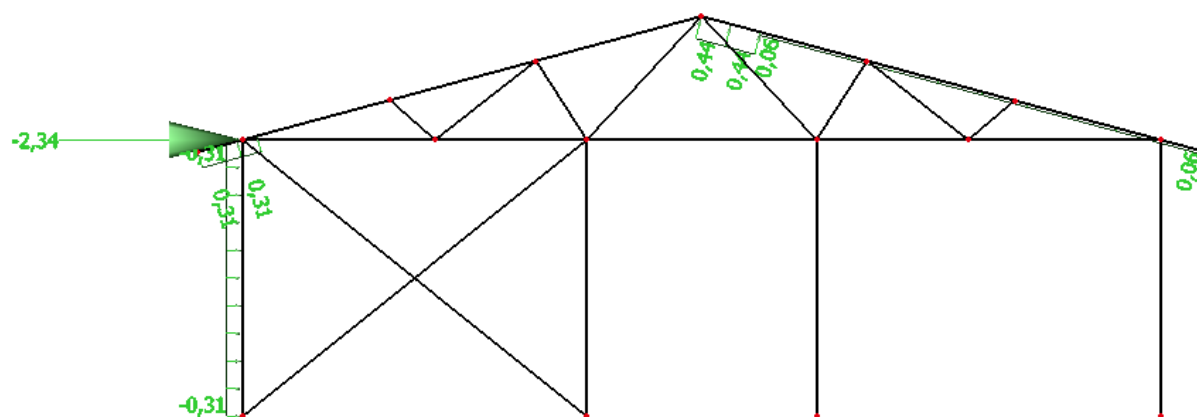
Vítr_6 (příčný vítr 0,3, součinitele s kladným indexem vlevo a záporným vpravo)



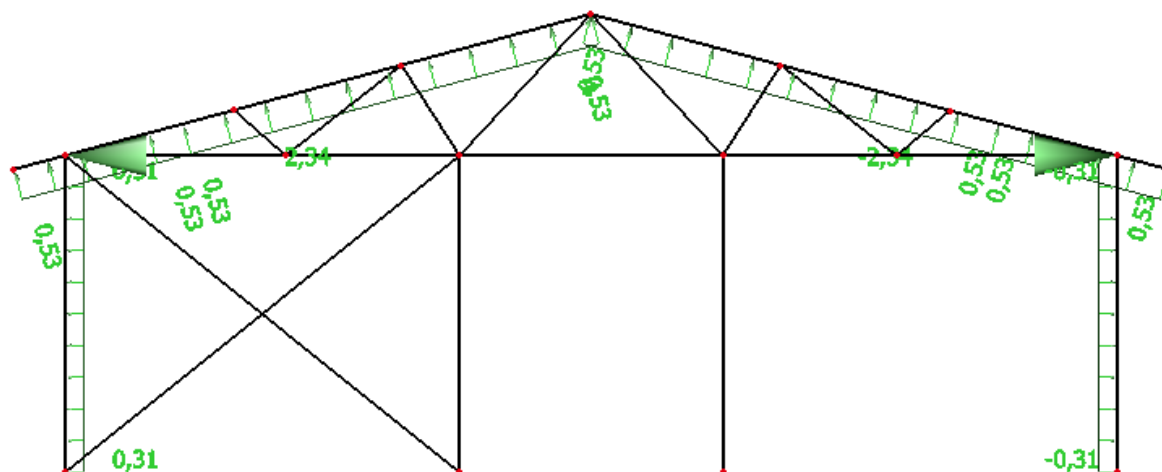
Vítr_7 (příčný vítr 0,3, součinitele se záporným indexem vlevo a kladným vpravo)



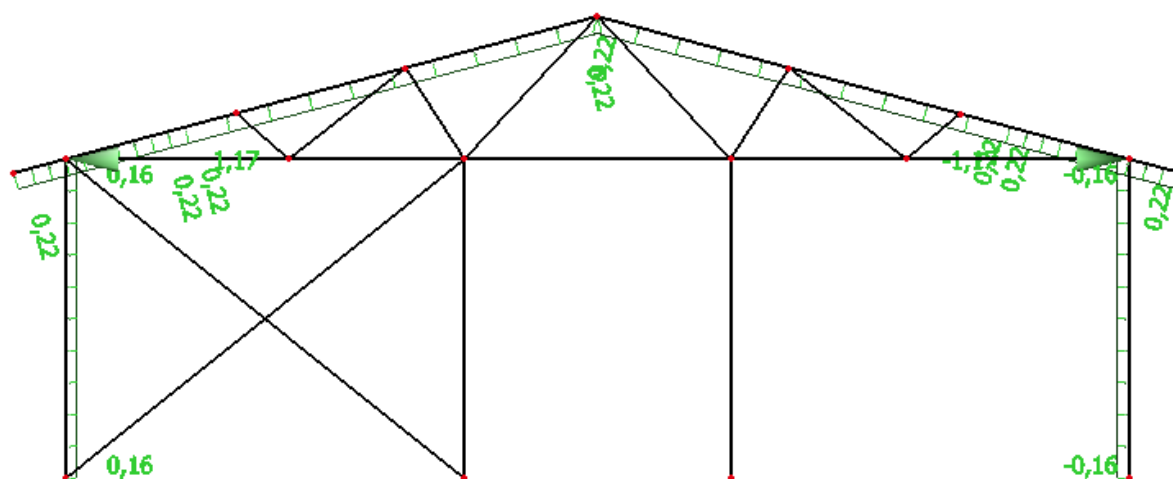
Vítr_8 (příčný vítr 0,3, součinitele se záporným indexem vlevo i vpravo)

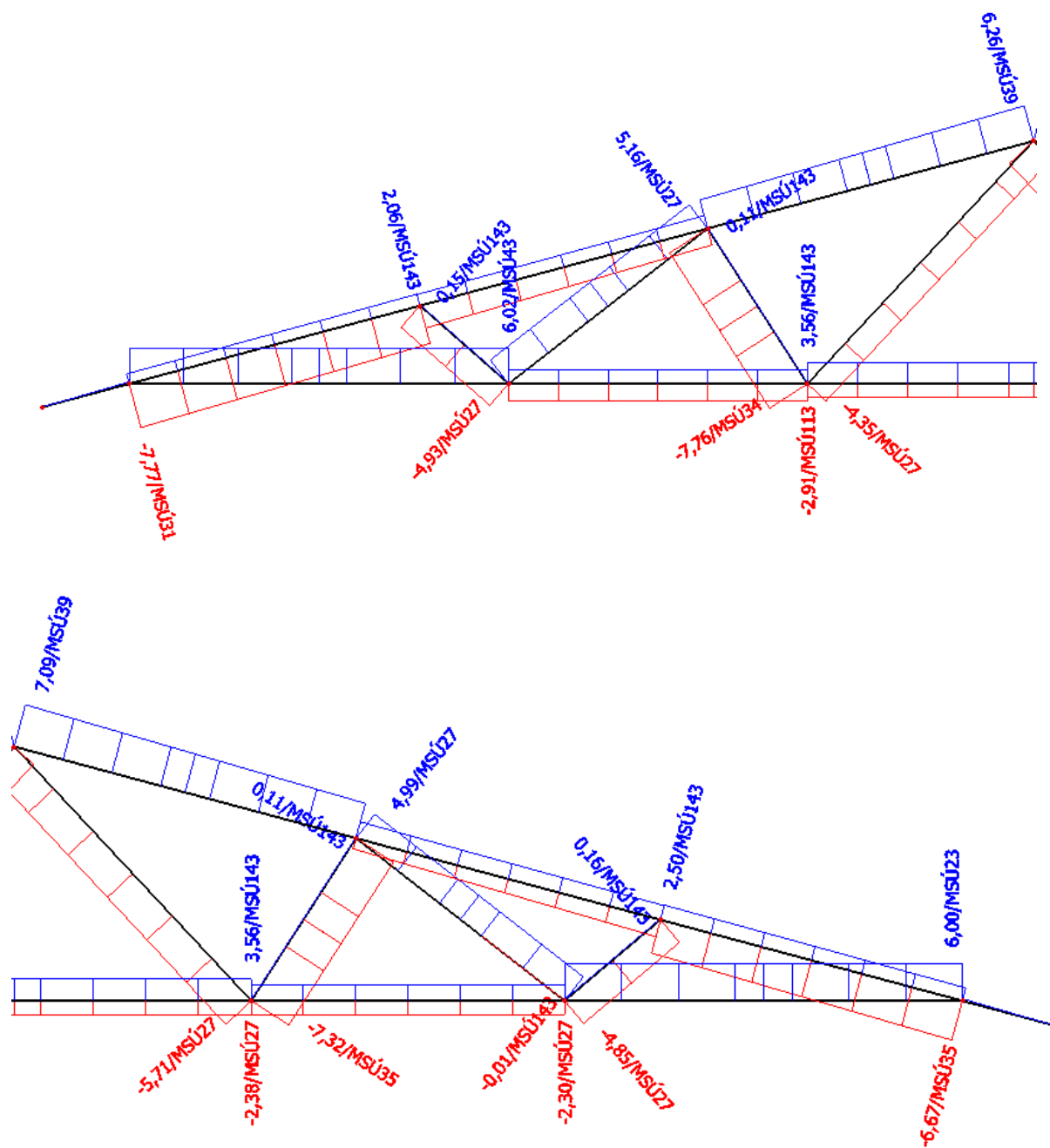
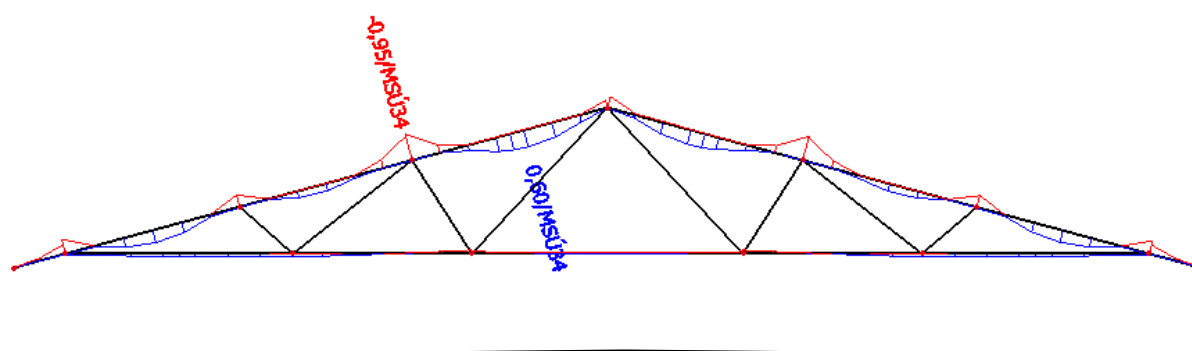


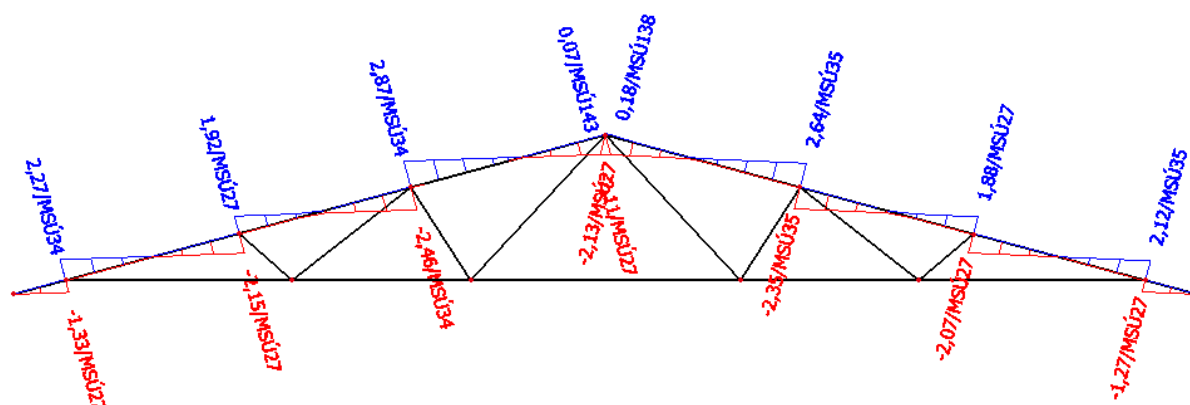
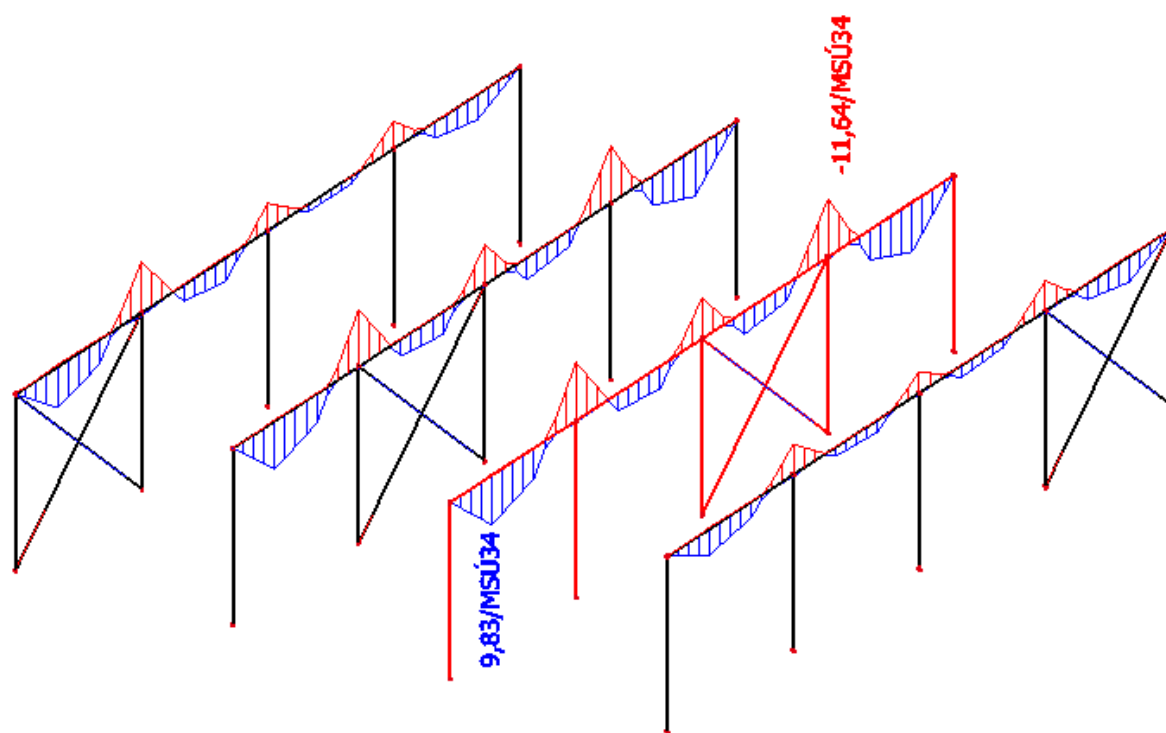
Vítr_9 (podélný vítr 0,2)



Vítr_10 (podélný vítr 0,3)



Příloha BNormálové síly na vazníkuMomenty na vazníku

Posouvající síly na vazníkuHledání nejzatíženější vaznice pomocí vykreslení extrémních hodnot ohybových momentů

Příloha C



PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH č. 1/2013



Jedinečný identifikační kód typu výrobku:

STYČNÍKOVÉ DESKY S PROLISOVANÝMI TRNY BV 11; BV 15; BV 20; BV 16

Zamýšlené použití:

Styčnickové desky s prolisovanými trny podle EN 14545:2008 určené ke spojování dřevěných prvků v příhradových vaznicích a jiných nosných dřevěných výrobcích.

Výrobce:

BOVA Březnice, spol. s r.o.
Za nádražím 472, 262 72 Březnice
Česká republika
DIČ: CZ 42726191

Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností:

Systém 2+

Harmonizovaná norma:

EN 14545:2008

Oznámený subjekt:

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p. , oznámený subjekt č. 1020

Deklarované vlastnosti:

Základní charakteristiky	Vlastnost BV11	Vlastnost BV15	Vlastnost BV20	Vlastnost BV16	Harmonizovaná technické specifikace
Charakteristická pevnost desky v připojení $f_{a,0,0}$ $f_{a,90,90}$ k_1 k_2 α_0	2,09 N/mm ² 1,14 N/mm ² -0,0123; -0,0003; 40°	4,02 N/mm ² 1,44 N/mm ² -0,0152; -0,0152; >90°	2,75 N/mm ² 1,37 N/mm ² -0,0100; -0,0100; >90°	2,71 N/mm ² 1,57 N/mm ² -0,0027; -0,0201; 36°	Zkouší se podle EN 1075 a přílohy B
Charakteristická únosnost desky v tahu $f_{t,0}$ $f_{t,90}$	213,2 N/mm 95,4 N/mm	300,1 N/mm 114,3 N/mm	386,6 N/mm 149,9 N/mm	399 N/mm 162 N/mm	Zkouší se podle EN 1075 a přílohy B
Charakteristická únosnost desky v tlaku $f_{c,0}$ $f_{c,90}$	122,8 N/mm 91,9 N/mm	189,6 N/mm 156,3 N/mm	268,3 N/mm 243,7 N/mm	231 N/mm 188 N/mm	Zkouší se podle EN 1075 a přílohy B
Charakteristická únosnost desky ve smyku $f_{v,0}$ $f_{v,90}$ k_v ; γ_0	73,08 N/mm 66,56 N/mm 0,35; 26°	93,2 N/mm 117,9 N/mm 0,93; 0,0°	221,3 N/mm 170,6 N/mm 0,96; 0,0°	170 N/mm 106 N/mm 2; 1°	Zkouší se podle EN 1075 a přílohy B
Modul posunutí desky k_{sw}	2,95 N/mm ³	4,25 N/mm ³	4,98 N/mm ³	2,57 N/mm ³	Stanovuje se podle EN 26891
Tažnost krčku trnu	vyhovující	vyhovující	vyhovující	vyhovující	Zkouší se podle EN 1075 a přílohy A
Trvanlivost (tj. ochrana proti korozi)	Z275 žárově pozinkování	Z275 žárově pozinkování	Z275 žárově pozinkování	Z275 žárově pozinkování	EN 14545 příloha A

Vlastnosti výše uvedeného výrobku jsou ve shodě se souborem deklarovaných vlastností.
Toto prohlášení o vlastnostech se v souladu s nařízením (EU) č. 305/2011 vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného výše.

Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

V Březnici dne 14. 11. 2013

Bohumil Babáček

ředitel společnosti



Příloha D**Spoj 2**Konstrukční zásady

Styčnickové desky musí pás překrývat nejméně 30 mm nebo šestinu jeho výšky od okraje pásu k těžišti plochy připojení A_{ef} .

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$t_d = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 55^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\gamma = 55^\circ$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

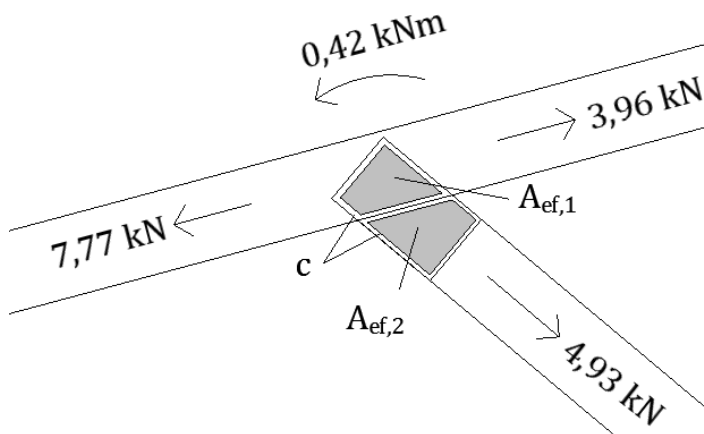
$$h = 140 \text{ mm}$$

$$c = 5 + 6t_p \sin(\alpha) = 5 + 6 \times 1,5 \times \sin(55) = 12,37 \text{ mm}$$

$$l_s = \frac{b}{\sin(\alpha)} = \frac{100}{\sin(55)} = 122,08 \text{ mm}$$

$$A_{ef,1} = 4980 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,2} = 4980 \text{ mm}^2$$



Efektivní plocha desky spoje 2

Vnitřní síly, které budou působit na styčnickovou desku jsou převzaty z programu SCIA Engineer:

$$N_{Ed,1} = -7,77 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,2} = 3,96 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,3} = 4,93 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$M_d = 0,42 \text{ kNm}$$

Charakteristická pevnost desky a její další vlastnosti jsou převzaty z technického listu firmy BOVA pro styčnickovou desku BV15 (viz příloha C).

$$f_{a,0,0,k} = 4,02 \text{ N/mm}^2 \rightarrow f_{a,0,0,d} = k_{mod} \frac{f_{a,0,0,k}}{\gamma_{M1}} = 2,47 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{a,90,90,k} = 1,44 \text{ N/mm}^2 \rightarrow f_{a,90,90,d} = k_{mod} \frac{f_{a,90,90,k}}{\gamma_{M1}} = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = -0,0152$$

$$k_2 = -0,0152$$

$$f_{t,0,k} = 300,10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{M2}} = 240,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{t,90,k} = 114,30 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_{M2}} = 91,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{c,0,k} = 189,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M2}} = 151,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{c,90,k} = 156,30 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_{M2}} = 125,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{v,0,k} = 93,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{v,0,d} = \frac{f_{v,0,k}}{\gamma_{M2}} = 74,56 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_{v,90,k} = 117,90 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow f_{v,90,d} = \frac{f_{v,90,k}}{\gamma_{M2}} = 94,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$k_v = 0,93$$

$$\gamma_0 = 0,0^\circ$$

a) únosnost desky

$$F_M = \frac{2M_d}{l_s} = \frac{2 \times 0,42 \times 10^3}{122,08} = 6,88 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} = F_d \cos(\alpha) \pm 2F_M \sin(\gamma) = (7,77 - 3,96) \times \cos(55) \pm 6,88 \times \sin(55) = \begin{cases} 7,82 \text{ kN} \\ -3,45 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{y,d} = F_d \sin(\alpha) \pm 2F_M \cos(\gamma) = (7,77 - 3,96) \times \sin(55) \pm 6,88 \times \cos(55) = \begin{cases} 7,07 \text{ kN} \\ -0,83 \text{ kN} \end{cases}$$

$$f_{n,0,d} = f_{t,0,d} = 240,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tahu ve směru } x)$$

$$f_{n,90,d} = f_{t,90,d} = 91,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tahu ve směru } y)$$

$$f_{x,d} = \max \begin{cases} f_{n,0,d} \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma)) = 240,08 \times \sin(55 - 0) = 196,66 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ f_{v,0,d} |\cos(\gamma)| = 74,56 \times |\cos(55)| = 42,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \end{cases}$$

$$k = 1$$

$$f_{y,d} = \max \begin{cases} f_{n,90,d} |\cos(\gamma)| = 91,44 \times \cos(55) = 52,45 \frac{N}{mm} \\ k \times f_{v,90,d} \sin(\gamma) = 1 \times 94,32 \times \sin(55) = 77,26 \frac{N}{mm} \end{cases}$$

$$s_{x,d} = \frac{F_{x,d}}{l_s} = \frac{7,82 \times 10^3}{122,08} = 64,07 \frac{N}{mm}$$

$$s_{y,d} = \frac{F_{y,d}}{l_s} = \frac{7,07 \times 10^3}{122,08} = 57,89 \frac{N}{mm}$$

Posouzení pro dvě styčnickové desky s prolisovanými trny:

$$\left(\frac{s_{x,d}}{2f_{x,d}} \right)^2 + \left(\frac{s_{y,d}}{2f_{y,d}} \right)^2 = \left(\frac{64,07}{2 \times 196,66} \right)^2 + \left(\frac{57,89}{2 \times 77,26} \right)^2 = 0,17 \leq 1$$

Vyhovuje

b) únosnost trnů pro horní pás

$$M_d = 0,42 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 55 \text{ mm}$$

$$I_p = 6,01 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{(7,77 - 3,96) \times 10^3}{4980} = 1,56 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 3,28 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_d r_{max}}{I_p} = \frac{0,42 \times 10^3 \times 55}{6,01 \times 10^6} = 3,44 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 1,56 + 3,84 = 5,40 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

c) únosnost trnů pro dolní pás

$$M_A = 0,02 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 55 \text{ mm}$$

$$I_p = 6,01 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{4,93 \times 10^3}{4980} = 0,99 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,02 \times 10^3 \times 55}{6,01 \times 10^6} = 0,73 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 0,99 + 0,73 = 1,72 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Spoj 3

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_{M1} = 1,3 \text{ (pro dřevo)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (pro desku)}$$

$$t_d = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

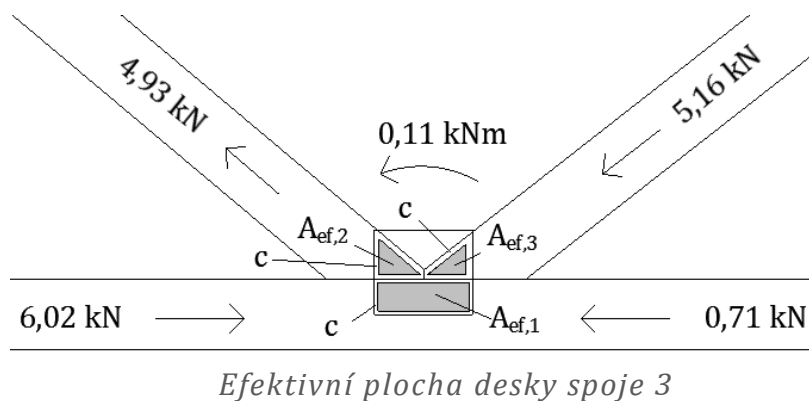
$$c = 5 \text{ mm}$$

$$l_s = b = 140 \text{ mm}$$

$$A_{ef,1} = 5200 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,2} = 1504 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,3} = 1407 \text{ mm}^2$$



Vnitřní síly, které budou působit na styčnickovou desku jsou převzaty z programu SCIA Engineer:

$$N_{Ed,1} = 6,02 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$N_{Ed,2} = 0,71 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$N_{Ed,3} = 4,93 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,4} = 5,16 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$M_d = 0,11 \text{ kNm}$$

a) únosnost desky

$$F_M = \frac{2M_d}{l_s} = \frac{2 \times 0,11 \times 10^3}{140,0} = 1,57 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} = F_d \cos(\alpha) \pm 2F_M \sin(\gamma) = (6,02 - 0,71) \times \cos(0) \pm 1,57 \times \sin(0) = \begin{cases} 5,31 \text{ kN} \\ 5,31 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{y,d} = F_d \sin(\alpha) \pm 2F_M \cos(\gamma) = (6,02 - 0,71) \times \sin(0) \pm 1,57 \times \cos(0) = \begin{cases} 1,57 \text{ kN} \\ -1,57 \text{ kN} \end{cases}$$

$$f_{n,0,d} = f_{c,0,d} = 151,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tlaku ve směru } x)$$

$$f_{n,90,d} = f_{c,90,d} = 125,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tlaku ve směru } y)$$

$$f_{x,d} = \max \begin{cases} f_{n,0,d} \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma)) = 151,68 \times \sin(0 - 0) = 0 \\ f_{v,0,d} |\cos(\gamma)| = 74,56 \times |\cos(0)| = 74,56 \frac{N}{mm} \end{cases}$$

$$k = 1$$

$$f_{y,d} = \max \begin{cases} f_{n,90,d} |\cos(\gamma)| = 125,04 \times \cos(0) = 125,04 \frac{N}{mm} \\ k \times f_{v,90,d} \sin(\gamma) = 1 \times 94,32 \times \sin(0) = 0 \end{cases}$$

$$s_{x,d} = \frac{F_{x,d}}{l_s} = \frac{5,31 \times 10^3}{140,0} = 37,93 \frac{N}{mm}$$

$$s_{y,d} = \frac{F_{y,d}}{l_s} = \frac{1,57 \times 10^3}{140} = 11,22 \frac{N}{mm}$$

Posouzení pro dvě styčnickové desky s prolisovanými trny:

$$\left(\frac{s_{x,d}}{2f_{x,d}} \right)^2 + \left(\frac{s_{y,d}}{2f_{y,d}} \right)^2 = \left(\frac{37,93}{2 \times 74,56} \right)^2 + \left(\frac{11,22}{2 \times 125,04} \right)^2 = 0,07 \leq 1$$

Vyhovuje

b) únosnost trnů pro spodní pás

$$M_d = 0,11 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 67 \text{ mm}$$

$$I_p = 8,02 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{(6,02 - 0,71) \times 10^3}{5200} = 1,16 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_d r_{max}}{I_p} = \frac{0,11 \times 10^3 \times 67}{8,02 \times 10^6} = 0,73 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 1,16 + 1,01 = 1,68 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

c) únosnost trnů pro levou diagonálu

$$M_A = 0,03 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 41 \text{ mm}$$

$$I_p = 4,58 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{4,93 \times 10^3}{1504} = 3,28 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 3,82 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,03 \times 10^3 \times 41}{4,58 \times 10^6} = 0,27 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 3,28 + 0,27 = 3,55 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

d) únosnost trnů pro pravou diagonálu

$$M_A = 0,02 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 39 \text{ mm}$$

$$I_p = 3,80 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{5,16 \times 10^3}{1407} = 3,66 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 3,76 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,02 \times 10^3 \times 39}{3,80 \times 10^6} = 0,32 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 3,95 + 0,32 = 4,27 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5 f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Spoj 4

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_{M1} = 1,3 \text{ (pro dřevo)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (pro desku)}$$

$$t_d = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

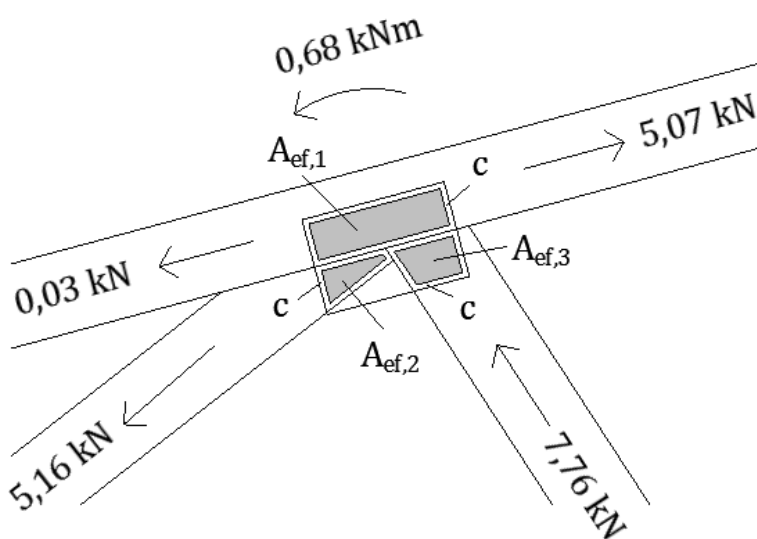
$$c = 5 \text{ mm}$$

$$l_s = b = 180 \text{ mm}$$

$$A_{ef,1} = 7636 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,2} = 3626 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,3} = 3280 \text{ mm}^2$$



Efektivní plocha desky spoje 4

Vnitřní síly, které budou působit na styčníkovou desku jsou převzaty z programu SCIA Engineer:

$$N_{Ed,1} = -0,03 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,2} = 5,07 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,3} = 5,16 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,4} = 7,76 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$M_d = 0,68 \text{ kNm}$$

a) únosnost desky

$$F_M = \frac{2M_d}{l_s} = \frac{2 \times 0,68 \times 10^3}{180,0} = 7,56 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} = F_d \cos(\alpha) \pm 2F_M \sin(\gamma) = (5,07 - 0,03) \times \cos(0) \pm 7,56 \times \sin(0) = \begin{cases} 5,04 \text{ kN} \\ -5,04 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{y,d} = F_d \sin(\alpha) \pm 2F_M \cos(\gamma) = (5,07 - 0,03) \times \sin(0) \pm 7,56 \times \cos(0) = \begin{cases} 7,56 \text{ kN} \\ -7,56 \text{ kN} \end{cases}$$

$$f_{n,0,d} = f_{t,0,d} = 240,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tahu ve směru } x)$$

$$f_{n,90,d} = f_{t,90,d} = 91,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tahu ve směru } y)$$

$$f_{x,d} = \max \begin{cases} f_{n,0,d} \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma)) = 240,08 \times \sin(0 - 0) = 0 \\ f_{v,0,d} |\cos(\gamma)| = 74,56 \times |\cos(0)| = 74,56 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \end{cases}$$

$$k = 1$$

$$f_{y,d} = \max \begin{cases} f_{n,90,d} |\cos(\gamma)| = 91,44 \times \cos(0) = 91,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ k \times f_{v,90,d} \sin(\gamma) = 1 \times 94,32 \times \sin(0) = 0 \end{cases}$$

$$s_{x,d} = \frac{F_{x,d}}{l_s} = \frac{5,04 \times 10^3}{180,0} = 28,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$s_{y,d} = \frac{F_{y,d}}{l_s} = \frac{7,56 \times 10^3}{180} = 41,98 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Posouzení pro dvě styčnickové desky s prolisovanými trny:

$$\left(\frac{s_{x,d}}{2f_{x,d}} \right)^2 + \left(\frac{s_{y,d}}{2f_{y,d}} \right)^2 = \left(\frac{28,00}{2 \times 74,56} \right)^2 + \left(\frac{41,98}{2 \times 91,44} \right)^2 = 0,09 \leq 1$$

Vyhovuje

b) únosnost trnů pro horní pás

$$M_d = 0,68 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 87 \text{ mm}$$

$$I_p = 18,88 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{(5,07 - 0,03) \times 10^3}{7636} = 0,66 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_d r_{max}}{I_p} = \frac{0,68 \times 10^3 \times 87}{18,88 \times 10^6} = 3,18 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 0,66 + 3,18 = 3,85 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5 f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

c) únosnost trnů pro levou diagonálu

$$M_A = 0,03 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 31 \text{ mm}$$

$$I_p = 6,21 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{5,16 \times 10^3}{3626} = 1,42 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 4,34 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,03 \times 10^3 \times 31}{6,21 \times 10^6} = 0,20 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 1,42 + 0,20 = 1,62 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

d) únosnost trnů pro pravou diagonálu

$$M_A = 0,03 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 31 \text{ mm}$$

$$I_p = 6,21 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{5,16 \times 10^3}{3626} = 1,42 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 2,82 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,03 \times 10^3 \times 31}{6,21 \times 10^6} = 0,20 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 1,42 + 0,20 = 1,62 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Spoj 5

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_{M1} = 1,3 \text{ (pro dřevo)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (pro desku)}$$

$$t_d = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\gamma = 0^\circ$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

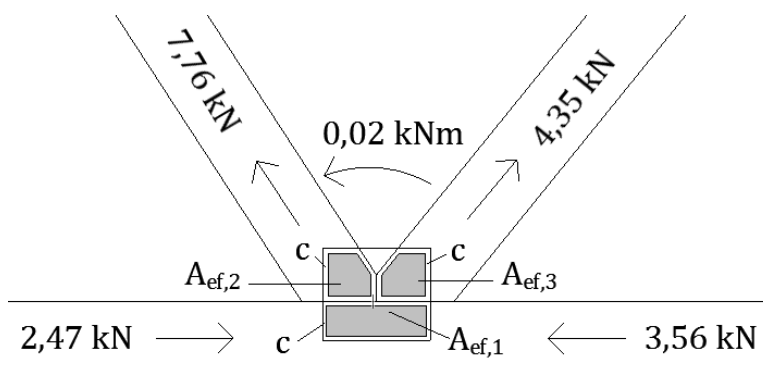
$$c = 5 \text{ mm}$$

$$l_s = b = 140 \text{ mm}$$

$$A_{ef,1} = 5200 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,2} = 3020 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,3} = 3050 \text{ mm}^2$$



Efektivní plocha desky spoje 5

Vnitřní síly, které budou působit na styčnickovou desku jsou převzaty z programu SCIA Engineer:

$$N_{Ed,1} = 2,46 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$N_{Ed,2} = 3,56 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$N_{Ed,3} = 7,76 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,4} = 4,35 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$M_d = 0,02 \text{ kNm}$$

a) únosnost desky

$$F_M = \frac{2M_d}{l_s} = \frac{2 \times 0,02 \times 10^3}{140,0} = 0,29 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} = F_d \cos(\alpha) \pm 2F_M \sin(\gamma) = (3,56 - 2,46) \times \cos(0) \pm 0,29 \times \sin(0) = \begin{cases} 1,01 \text{ kN} \\ 1,01 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{y,d} = F_d \sin(\alpha) \pm 2F_M \cos(\gamma) = (3,56 - 2,46) \times \sin(0) \pm 0,29 \times \cos(0) = \begin{cases} 0,29 \text{ kN} \\ -0,29 \text{ kN} \end{cases}$$

$$f_{n,0,d} = f_{c,0,d} = 151,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tlaku ve směru x})$$

$$f_{n,90,d} = f_{c,90,d} = 91,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tahu ve směru y})$$

$$f_{x,d} = \max \begin{cases} f_{n,0,d} \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma)) = 151,68 \times \sin(0 - 0) = 0 \\ f_{v,0,d} |\cos(\gamma)| = 74,56 \times |\cos(0)| = 74,56 \frac{N}{mm} \end{cases}$$

$$k = 1$$

$$f_{y,d} = \max \begin{cases} f_{n,90,d} |\cos(\gamma)| = 91,44 \times \cos(0) = 91,44 \frac{N}{mm} \\ k \times f_{v,90,d} \sin(\gamma) = 1 \times 94,32 \times \sin(0) = 0 \end{cases}$$

$$s_{x,d} = \frac{F_{x,d}}{l_s} = \frac{1,1 \times 10^3}{140,0} = 7,85 \frac{N}{mm}$$

$$s_{y,d} = \frac{F_{y,d}}{l_s} = \frac{0,29 \times 10^3}{140} = 2,04 \frac{N}{mm}$$

Posouzení pro dvě styčnickové desky s prolisovanými trny:

$$\left(\frac{s_{x,d}}{2f_{x,d}} \right)^2 + \left(\frac{s_{y,d}}{2f_{y,d}} \right)^2 = \left(\frac{7,85}{2 \times 74,56} \right)^2 + \left(\frac{2,04}{2 \times 91,44} \right)^2 = 0,003 \leq 1$$

Vyhovuje

b) únosnost trnů pro spodní pás

$$M_d = 0,02 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 67 \text{ mm}$$

$$I_p = 8,02 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{(3,56 - 2,46) \times 10^3}{5200} = 0,21 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_d r_{max}}{I_p} = \frac{0,02 \times 10^3 \times 67}{8,02 \times 10^6} = 0,07 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 0,21 + 0,07 = 0,28 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5 f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

c) únosnost trnů pro levou diagonálu

$$M_A = 0,03 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 39 \text{ mm}$$

$$I_p = 1,64 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{7,67 \times 10^3}{3020} = 2,57 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 3,12 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,03 \times 10^3 \times 39}{1,64 \times 10^6} = 0,71 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 2,57 + 0,71 = 3,28 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5 f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

d) únosnost trnů pro pravou diagonálu

$$M_A = 0,03 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 39 \text{ mm}$$

$$I_p = 1,63 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{4,35 \times 10^3}{3050} = 2,54 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 3,06 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,03 \times 10^3 \times 39}{1,63 \times 10^6} = 0,72 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 2,54 + 0,72 = 3,26 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5 f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Spoj 6

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_{M1} = 1,3 \text{ (pro dřevo)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (pro desku)}$$

$$t_d = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 75^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\gamma = 75^\circ$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

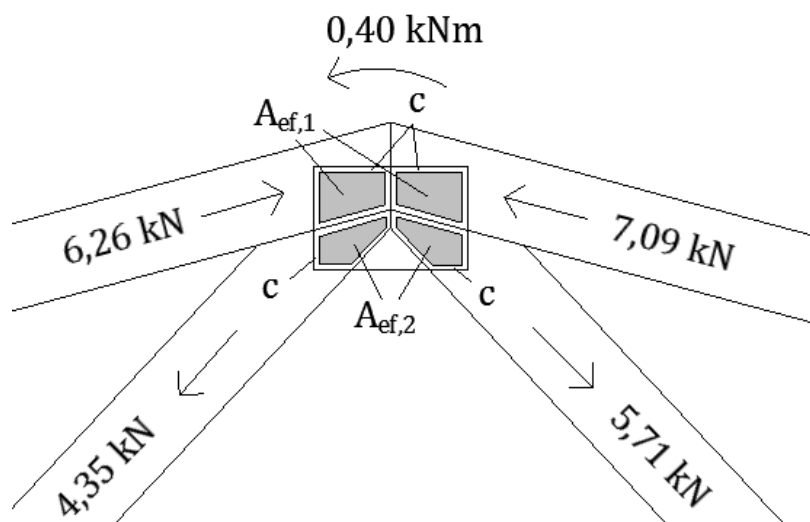
$$h = 120 \text{ mm}$$

$$c = 5 \text{ mm}$$

$$l_s = 72 \text{ mm}$$

$$A_{ef,1} = 3724 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef,2} = 2560 \text{ mm}^2$$



Efektivní plocha desky spoje 6

Vnitřní síly, které budou působit na styčníkovou desku jsou převzaty z programu SCIA Engineer:

$$N_{Ed,1} = 6,26 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$N_{Ed,2} = 7,09 \text{ kN (tažený prut)}$$

$$N_{Ed,3} = 4,35 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$N_{Ed,4} = 5,71 \text{ kN (tlačený prut)}$$

$$M_d = 0,25 \text{ kNm}$$

a) únosnost desky

$$F_M = \frac{2M_d}{l_s} = \frac{2 \times 0,25 \times 10^3}{72} = 6,49 \text{ kN}$$

$$F_{x,d} = F_d \cos(\alpha) \pm 2F_M \sin(\gamma) = (7,09 - 6,26) \times \cos(75) \pm 6,49 \times \sin(75) = \begin{cases} 6,92 \text{ kN} \\ -6,49 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{y,d} = F_d \sin(\alpha) \pm 2F_M \cos(\gamma) = (7,09 - 6,26) \times \sin(75) \pm 6,49 \times \cos(75) = \begin{cases} 2,60 \text{ kN} \\ -1,00 \text{ kN} \end{cases}$$

$$f_{n,0,d} = f_{c,0,d} = 151,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tlaku ve směru } x)$$

$$f_{n,90,d} = f_{c,90,d} = 91,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{při tahu ve směru } y)$$

$$f_{x,d} = \max \begin{cases} f_{n,0,d} \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma)) = 151,68 \times \sin(75 - 0) = 146,51 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ f_{v,0,d} |\cos(\gamma)| = 74,56 \times |\cos(75)| = 19,30 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \end{cases}$$

$$k = 1$$

$$f_{y,d} = \max \begin{cases} f_{n,90,d} |\cos(\gamma)| = 91,44 \times \cos(75) = 23,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ k \times f_{v,0,d} \sin(\gamma) = 1 \times 94,32 \times \sin(75) = 91,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \end{cases}$$

$$s_{x,d} = \frac{F_{x,d}}{l_s} = \frac{6,92 \times 10^3}{72} = 96,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$s_{y,d} = \frac{F_{y,d}}{l_s} = \frac{2,60 \times 10^3}{72} = 36,10 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Posouzení pro dvě styčnickové desky s prolisovanými trny:

$$\left(\frac{s_{x,d}}{2f_{x,d}} \right)^2 + \left(\frac{s_{y,d}}{2f_{y,d}} \right)^2 = \left(\frac{96,15}{2 \times 146,51} \right)^2 + \left(\frac{36,10}{2 \times 91,11} \right)^2 = 0,15 \leq 1$$

Vyhovuje

b) únosnost trnů pro horní pás

$$M_d = 0,25 \text{ kNm}$$

$$r_{\max} = 40 \text{ mm}$$

$$I_p = 2,97 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{7,09 \times 10^3}{3724} = 1,9 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 2,67 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_d r_{\max}}{I_p} = \frac{0,25 \times 10^3 \times 40}{2,97 \times 10^6} = 3,37 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 1,9 + 3,37 = 5,27 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5 f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

c) únosnost trnů pro levou diagonálu

$$M_A = 0,03 \text{ kNm}$$

$$r_{max} = 39 \text{ mm}$$

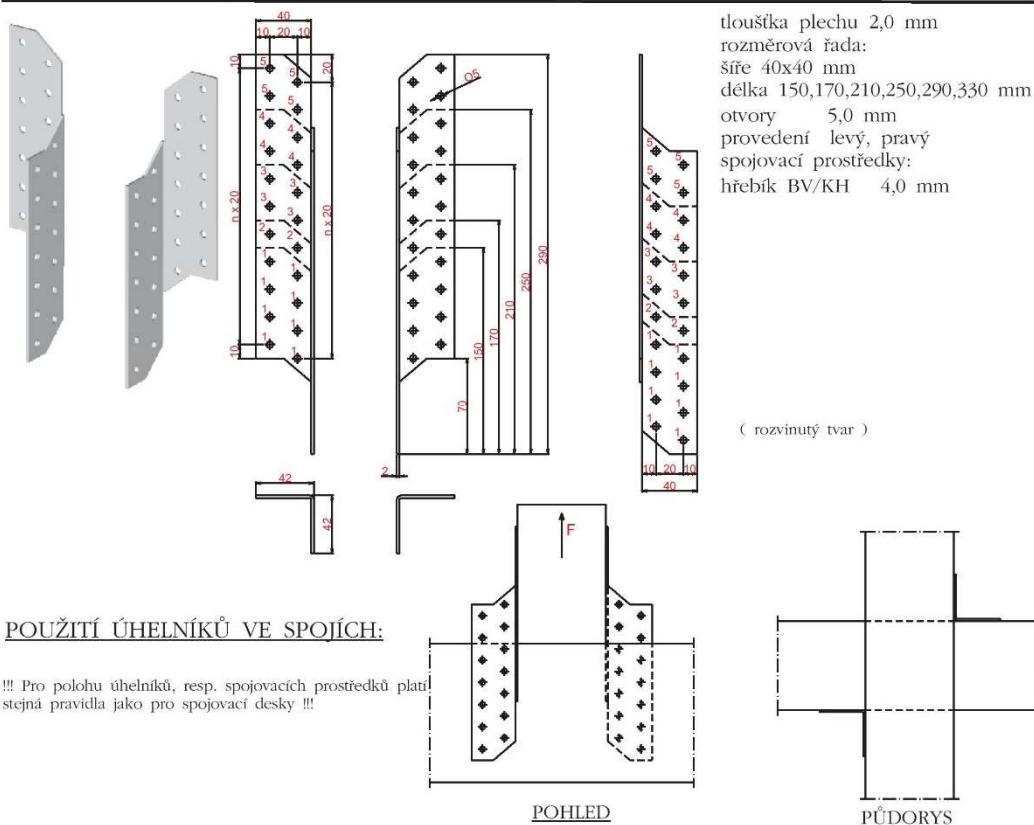
$$I_p = 1,06 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_F = \frac{F_A}{A_{ef}} = \frac{5,71 \times 10^3}{2560} = 2,23 \text{ MPa} \leq 2f_{a,\alpha,\beta,d} = 2,67 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M_A r_{max}}{I_p} = \frac{0,03 \times 10^3 \times 30}{1,64 \times 10^6} = 1,10 \text{ MPa} \leq 2f_{a,90,90,d} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_F + \tau_M = 2,23 + 1,10 = 3,33 \text{ MPa} \leq 2 \times 1,5f_{a,0,0,d} = 7,42 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Příloha E**SPOJOVACÍ ÚHELNÍK****05-31****POUŽITÍ ÚHELNÍKŮ VE SPOJÍCH:**

!!! Pro polohu úhelníků, resp. spojovacích prostředků platí stejná pravidla jako pro spojovací desky !!!

POHLED**PŮDORYS****STANOVENÍ ÚNOSNOSTI ÚHELNÍKU:** hřebíky 4,0/60mm

Pro stanovení únosnosti úhelníku (spoje) jsou rozhodující spojovací prostředky (hřebíky). Tabelaované únosnosti jsou pro hřebíky BV/KH (15-01).

Použití úhelníků je vždy z obou stran vystřídane dřevěného profilu.

- 1) Stanovení únosnosti plechů oslabené otvory
(úhelníky z obou stran vystřídane)

$$b_{os} = 40 - 5 = 35 \text{ mm}$$

$$F_{os} = 0,243 \times (2 \times 35) \times 2 = 34,02 \text{ kN}$$

- 2) Stanovení únosnosti hřebíků
(úhelníky z obou stran vystřídane)

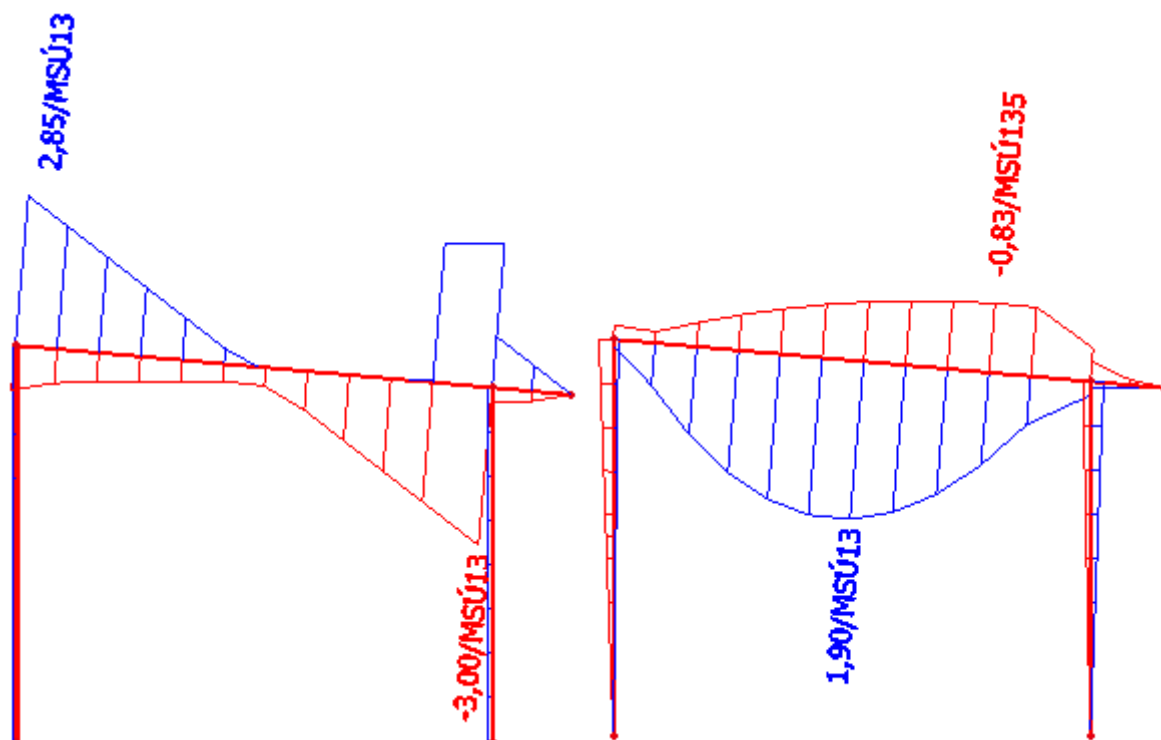
Z rozvinutého vyobrazení úhelníku (přetočené přichytky) je patrná možnost obsazení jednotlivých pozic. Z počtu hřebíků v jednotlivých pozicích odečteme z tabulky příslušnou únosnost F_{HR} .

V tomto případě vždy rozhoduje počet hřebíků.

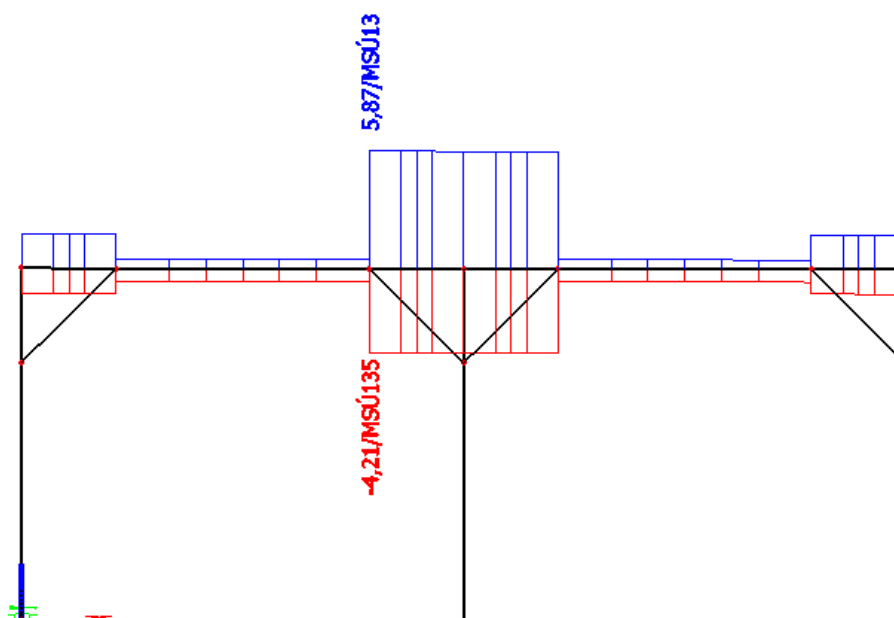
obsazené pozice	výška B mm	počet HR ks	F_{HR} kN
1	150	4+4	5,76
		5+5	7,20
		6+6	8,64
		7+7	10,08
		8+8	11,52
1, 2	170	9+9	12,96
		10+10	14,40
1, 2, 3	210	11+11	15,84
		12+12	17,28
		13+13	18,72
		14+14	20,16
1, 2, 3, 4	250	15+15	21,60
		16+16	23,04
		17+17	24,48
		18+18	25,92
1, 2, 3, 4, 5	290	19+19	27,36
		20+20	28,80
		21+21	30,24
		22+22	31,68

Příloha FVykreslení vnitřních sil na krokvi přístřešku

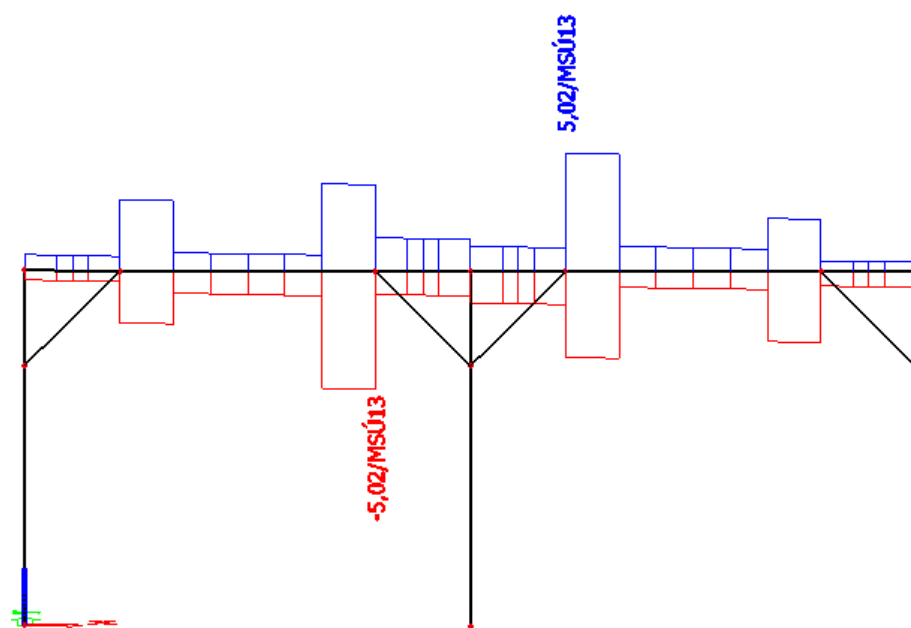
Posouvající síly vlevo, ohybové momenty vpravo

Vykreslení vnitřních sil na vazníku přístřešku

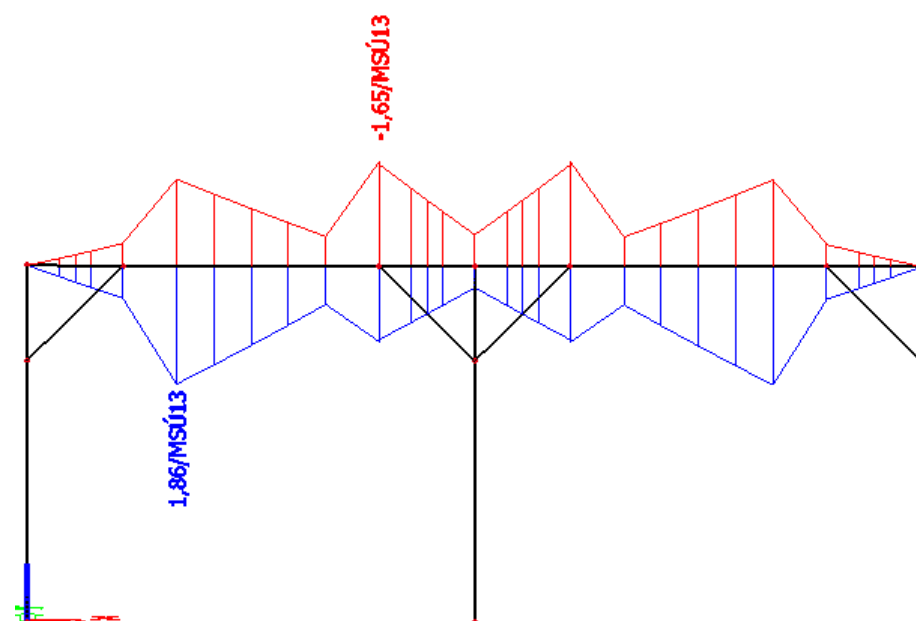
Normálové síly



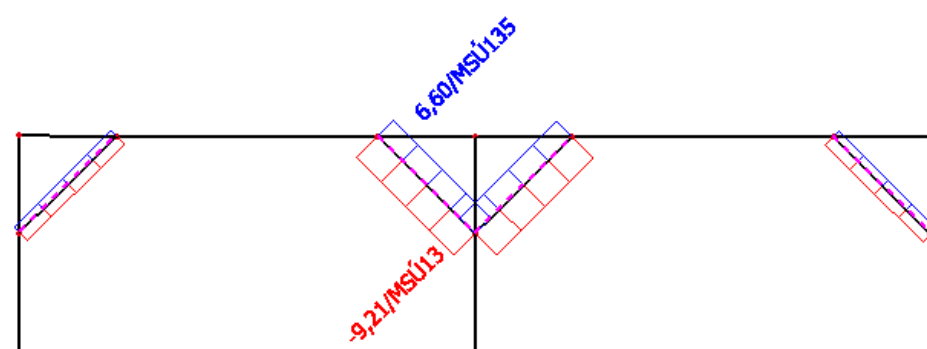
Posouvající síly

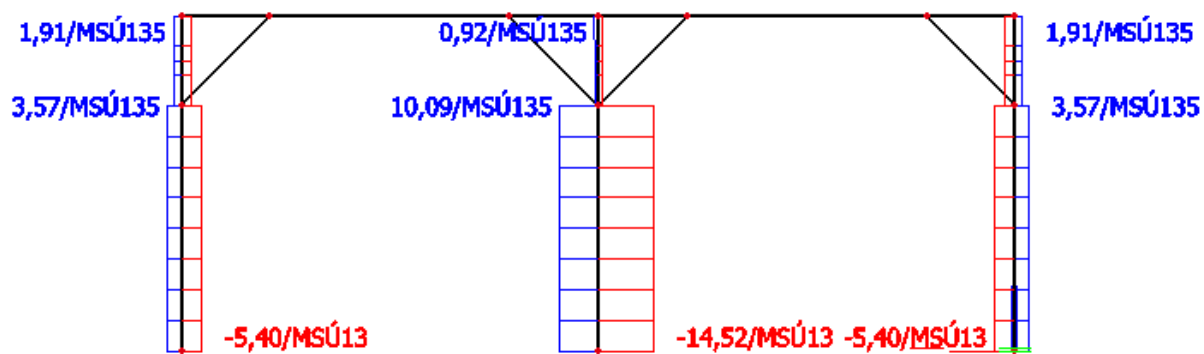
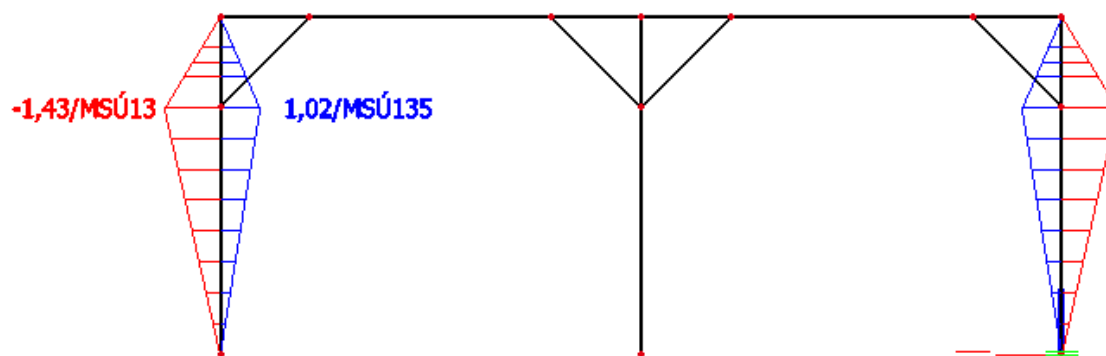


Ohybové momenty



Normálové síly na pásnici



Normálové síly na sloupuOhybové momenty na sloupu

Výkresy

Seznam přiložených výkresu:

01.	Půdorys	1:100
02.	Dispozice + řez	1:100
03.	Pohledy	1:100
04.	Detail A	1:5
05.	Detail B	1:5
06.	Skladby	1:10